REALIZAÇÃO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE AS ÁREAS DE RECARGA NO SISTEMA PERNAMBUCO-PARAÍBA COM A ELABORAÇÃO DO MAPA DE ZONAS DE GERENCIAMENTO E ELABORAÇÃO DE PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DA PARAÍBA

RELATÓRIO FINAL

PRODUTO 7

Dezembro de 2024

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA

Diretor Presidente

Porfírio Catão Cartaxo Loureiro

Diretor Executivo de Acompanhamento e Controle

Beranger Arnaldo de Araújo

Diretor Executivo Administrativo e Financeiro

Joacy Mendes Nóbrega

Diretor Executivo de Gestão e Apoio Estratégico

Waldemir Fernandes Azevedo

Coordenadora PROGESTÃO / Programas e Projetos

Ana Emilia Duarte

Gestor do Contrato

Armando César Rodrigues Braga

CONSÓRCIO IGNEO/NIP/PROFILL

Coordenação

Flávio de Paula e Silva

Equipe Técnica

Antônio Silvio Jornada Krebs

Marcia Regina Stradioto

Ana Luiza Helfer

Sidnei Gusmão Agra

Carla Beatris Gasparini

Isabel Cristiane Rekowsky

Wilma Maria Nunes Memoria

Hygor Garcia

Carlos Ronei Bortoli

Tiago Vier Fischer

Mauro Jungblut

Dora Atman

Anna Luiza Lopes Matos

Marco Antonio Pereira Pessoa

Elisa de Mello Kich

Maurício Dambros Melati

APRESENTAÇÃO

O Consórcio IGNEO-NIP-PROFILL vêm, por meio deste, apresentar o **Produto 7 – Relatório Final**, referente ao contrato 1-010/2022. Contém, portanto, a consolidação de todas as atividades desenvolvidas, com os resultados relevantes, conclusões e recomendações.

O presente produto segue os Termos de Referência do Edital SBQC 005/2021 (BR-SIERHMA-220426-CSBQC), realizado no âmbito do Projeto de Segurança Hídrica do Estado da Paraíba - PSH-PB. O PSH-PB é uma iniciativa do Estado da Paraíba, executado pela Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente - SEIRHMA, com apoio técnico da Agência Executiva de Gestão das Águas – AESA e apoiado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 26

2 DIAGNÓSTICO 27

2.1 BANCO DE DADOS 30
2.1.1 Banco de Dados Hidroclimatológicos – BD Clima 30
2.1.2 Banco de Dados SIG – BD SIG 31
2.1.3 Banco de Dados de Usos Consuntivos – BD Usos 31
2.1.4 Banco de Dados de Poços - BD Poços 31
2.1.5 Banco de Dados Consolidado – BD Consolidado 33

2.2 DIAGNÓSTICO POR TEMAS 34
2.2.1 GEOLOGIA 34
2.2.2 GEOMORFOLOGIA 48
2.2.3 VEGETAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO 69
2.2.4 POPULAÇÃO E INDICADORES SOCIOECONÔMICOS 90
2.2.5 CLIMA E HIDROLOGIA 103
2.2.6 REDE DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 181
2.2.7 HIDROGEOLOGIA 207
2.2.8 DEMANDA E USO DA ÁGUA 272

2.3 OBSERVAÇÕES FINAIS DO DIAGNÓSTICO 332

3 MODELO CONCEITUAL 337

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE OCORRÊNCIA DA UNIDADE GRAMAME 338

3.2 COMPILADO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO SAPP 353
3.2.1 Limites físicos do SAPP 355

3.3 CONDIÇÕES DE RECARGA E DESCARGA DO SAPP 357
3.3.1 Áreas potenciais de recarga e descarga 357
3.3.2 Favorabilidade dos terrenos à recarga 366

3.4 POTENCIOMETRIA DO SAPP 380
3.4.1 Generalidades 380
3.4.2 Análise dos registros de níveis estáticos de poços cadastrados 382
3.4.3 Mapa potenciométrico do subsistema livre 386

3.4.4 Análise da potenciometria do subsistema livre nas bacias hidrográficas da área de estudo 389

3.4.5 Mapa potenciométrico do subsistema confinado 396

3.4.6 Análise das oscilações de níveis nos subsistemas livre e confinado do SAPP 401

3.5 MODELO CONCEITUAL DO FLUXO SUBTERRÂNEO DO SAPP 405

3.6 INTERFERÊNCIAS ANTRÓPICAS POR EXTRAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA 411

3.7 OBSERVAÇÕES FINAIS DO MODELO CONCEITUAL 415

4 ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO 418

4.1 RECARGA SUBTERRÂNEA – AQUÍFERO LIVRE 418

4.1.1 Definição das Metodologias 419

4.1.2 Método da Water Table Fluctuation - WTF 421

4.1.3 Método do Balanço Hídrico 432

4.1.4 Método de Avaliação das Variações de Armazenamento nos Aquíferos usando Gravimetria (GRACE). 453

4.1.5 Comparação entre os resultados dos diferentes métodos de quantificação da recarga subterrânea 456

4.1.6 Comparação dos resultados obtidos com os de outros trabalhos 460

4.2 RECARGA SUBTERRÂNEA – AQUÍFERO CONFINADO 460

4.2.1 Método de Recarga – Taxas de Fluxo 461

4.3 DELIMITAÇÃO DAS ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO E ESTIMATIVAS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 465

4.3.1 Ponderação de temas para definição das zonas e subzonas de gerenciamento 466

4.3.2 Estimativa de potencial e disponibilidade de águas subterrâneas para as subzonas de gerenciamento 487

4.3.3 Índices de Sustentabilidade Hídrica 495

4.3.4 Zonas de gerencimento 500

4.4 OBSERVAÇÕES FINAIS DAS ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO 503

5 PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA 505

5.1 OBJETIVO DA REDE DE MONITORAMENTO DO SAPP 505

5.2 REDES DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO SAPP 507
5.2.1 Rede de monitoramento em operação 507
5.2.2 Redes de monitoramento descontinuadas 509
5.3 PROPOSTA PARA A REDE DE MONITORAMENTO NO SAPP 511
5.3.1 Seleção de poços da rede inicial 514
5.3.2 Seleção de pontos para instalação de poços de dedicação exclusiva 522
5.3.3 Rede flutuante 528
5.3.4 Compilado dos locais selecionados para a rede do SAPP 531
5.3.5 Critérios para Priorização das Áreas de Monitoramento 536
5.4 METODOLOGIAS E EQUIPAMENTOS PARA O MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO 539
5.4.1 Monitoramento da Quantidade 539
5.4.2 Monitoramento da Qualidade 543
5.4.3 Aquisição e transmissão dos dados 555
5.4.4 Análise e Tratamento dos Dados 557
5.4.5 Integração entre Dados de Monitoramento de Águas Subterrâneas e Superficiais 560
5.4.6 Procedimentos para a Alimentação do Banco de dados 561
5.5 OBSERVAÇÕES FINAIS DA REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PROPOSTA 562
6 DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA OUTORGA DO USO DA ÁGUA NA REGIÃO DO SAPP 566
6.1 LEGISLAÇÃO ATUAL SOBRE LICENÇA DE OBRA HÍDRICA (POÇO) E OUTORGA 566
6.1.1 Legislação sobre prévia licença de obra hídrica (poço) 566
6.1.2 Legislação sobre outorga para águas subterrâneas 567
6.2 PROCEDIMENTOS GERAIS PARA OBTENÇÃO DE PRÉVIA LICENÇA DE OBRA HÍDRICA (POÇO) NA ÁREA DO SAPP 569
6.2.1 Classificação dos poços 569
6.2.2 Critérios construtivos 571
6.3 PROCEDIMENTOS GERAIS PARA OBTENÇÃO DE OUTORGA NO SAPP 575
6.4 PROPOSIÇÃO DE NOVOS CRITÉRIOS DE OUTORGA PARA A ÁREA DO SAPP 576

6.4.1 Critérios de outorga em nível global 577
6.4.2 Critérios de outorga em nível regional 578
6.4.3 Critérios de outorga em nível local 590
6.4.4 Usos dispensados prévia licença 600
6.4.5 Condicionantes de renovação de outorga 600
6.4.6 Poços desativados permanentemente 601

6.5 OBSERVAÇÕES FINAIS DAS DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA OUTORGA DO USO DA ÁGUA NA REGIÃO DO SAPP 601

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 605

7.1 Capítulo 2 - Diagnóstico 605

7.2 Capítulo 3 – Modelo Conceitual 607

7.3 Capítulo 4 – Zonas e Subzonas de gerenciamento 609

7.4 Capítulo 5 – Proposta de Rede de Monitoramento das águas subterrâneas 610

7.5 Capítulo 6 – Diretrizes e Critérios para outorga do Uso da água na região do SAPP 612

8 REFERÊNCIAS 614

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização da área de estudo no litoral do estado da Paraíba e as principais bacias hidrográficas. 29

Figura 2.2 – Contexto geológico regional da área de estudo na Província Borborema. 35

Figura 2.3 – Bacias marginais, sub-bacias e embasamento pré-cambriano adjacente na porção leste dos estados da Paraíba e Pernambuco (modificado de Barbosa *et al.*, 2003). 36

Figura 2.4 – Mapa geológico da área de estudo (CPRM, 2004) e seções geológicas interpretadas por Barbosa e Lima Filho (2005) e Costa *et al.* (2007). No mapa são identificadas as sub-bacias sedimentares e os blocos estruturais delimitados por Costa *et al.* (2007). 39

Figura 2.5 – Diagrama de cerca ilustração a disposição das unidades sedimentares da bacia Paraíba. Fonte: seções geológicas elaborada por Costa *et al.* (2007). 40

Figura 2.6 – Coluna litoestratigráfica das sub-bacias de Olinda e Alhandra/Miriri (BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003). 41

Figura 2.7 – Contorno estrutural do embasamento e as principais estruturas geológicas presentes na área estudada (superfície remodelada a partir de dados extraídos de Barbosa *et al.*, 2007). 42

Figura 2.8 – Perfilagem do poço 2-IST-01-PE, perfurado na sub-bacia de Olinda pela Petrobras, e a interpretação das unidades litoestratigráficas atravessadas (BARBOSA, 2004). 45

Figura 2.9 – Seções geológicas elaboradas por Brito Neves *et al.* (2009) ao longo da Sub-bacia Alhandra. 47

Figura 2.10 – Tabuleiros costeiros próximos à faixa litorânea. 49

Figura 2.11 – Limites da área de estudo. Depressão Sertaneja no primeiro plano e Planalto da Borborema ao fundo. 50

Figura 2.12 – Seção topográfica Piancó – Ponta do Seixas, exibindo o anteparo orográfico da borda oriental do planalto da Borborema em relação aos níveis da superfície da depressão sertaneja e dos tabuleiros costeiros até o oceano Atlântico. 51

Figura 2.13 – Mapa Hipsométrico da área de estudo do SAPP. 53

Figura 2.14 – Seções topográficas atravessando os principais vales de drenagem no SAPP. 57

Figura 2.15 – Acúmulos d'água dando início à circulação hídrica, acompanhando a fisiografia. 58

Figura 2.16 – Mapa de declividades. 60

Figura 2.17 – Mapa hidrogeológico dos solos. 66

Figura 2.18 – Uso e ocupação do solo na área de estudo. 73

Figura 2.19 – Mapa de Fontes Potenciais de Contaminação. 80

Figura 2.20 – Unidades de conservação, Terras Indígenas e Quilombos. 84

Figura 2.21 – Áreas de Preservação Permanente na área de estudo. 86

Figura 2.22 – APPs nos municípios (% antropizado em cinza e % conservação em verde). 89

Figura 2.23 – População residente total. 92

Figura 2.24 – Densidade demográfica. 93

Figura 2.25 – IDH Municipal. 96

Figura 2.26 – PIB per capita. 98

Figura 2.27 – Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal – IFDM. 100

Figura 2.28 – Índice de Gestão Municipal Aquila. 102

Figura 2.29 – Localização das estações pluviométricas na área do SAPP e estações pluviométricas selecionadas. 112

Figura 2.30 – Média mensal de precipitação na estação Mamanguape/Asplan (635117), localizada próxima a bacia do rio Guaju. 118

Figura 2.31 – Média mensal de precipitação na estação Mataraca (635140), localizada na bacia do Rio Camaratuba. 119

Figura 2.32 – Média mensal de precipitação na estação Mamanguape (635138), localizada na bacia do Rio Mamanguape. 119

Figura 2.33 – Média mensal de precipitação na estação Capim (635129), localizada na bacia do Rio Miriri. 120

Figura 2.34 – Média mensal de precipitação na estação Ponte da Batalha (735036), localizada na bacia do Baixo Rio Paraíba. 120

Figura 2.35 – Média mensal de precipitação na estação Conde/Aç.GramameMamuaba (734040), localizada na bacia do Rio Gramame. 121

Figura 2.36 – Média mensal de precipitação na estação Alhandra (734008), localizada na bacia do Rio Abiaí. 121

Figura 2.37 – Média mensal de precipitação nas estações localizadas na bacia do Baixo Paraíba. 122

Figura 2.38 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação Mamanguape (635044/ 635138). 127

Figura 2.39 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação Santa Rita (734001). 127

Figura 2.40 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação João Pessoa (734003/ 734006). 128

Figura 2.41 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação Alhandra (734007/ 734008). 128

Figura 2.42 – Gráfico climatológico da precipitação média mensal dos períodos oficiais de referência do INMET. 129

Figura 2.43 – Isoietas de precipitação total média anual entre 1994 e 2022. 131

Figura 2.44 – Isoietas de precipitação total média no período seco entre 1994 e 2022. 132

Figura 2.45 – Isoietas de precipitação total média no período chuvoso entre 1994 e 2022. ... 133

Figura 2.46 – Comparação entre as isoietas de precipitações médias anuais geradas no presente estudo com as isoietas do Atlas Pluviométrico (CPRM, 2011). 135

Figura 2.47 – Sobreposição das isoietas de precipitação ao mapa hipsométrico. 137

Figura 2.48 – Localização das estações fluviométricas nas bacias de influência do SAPP e estações fluviométricas selecionadas. 147

Figura 2.49 – Comparação entre a vazão média mensal na estação Fazenda Almas (38690000) e a precipitação pluviométrica registrada no mesmo período na estação Mamanguape/Asplan (635117). 149

Figura 2.50 – Hidrogramas de escoamento das estações localizadas na bacia do rio Mamanguape. 150

Figura 2.51 – Comparação entre a vazão média mensal na estação Ponte do Leitão (38790000) e a precipitação pluviométrica registrada no mesmo período na estação Mulungu (735009). 150

Figura 2.52 – Hidrogramas de escoamento das estações Caraúbas (38830000) e Bodocongo (38860000) localizadas no Alto e Médio Rio Paraíba, respectivamente. 153

Figura 2.53 – Hidrogramas de escoamento das estações Guarita (38880000) e Ponte da Batalha (38895000), localizadas no Baixo Rio Paraíba. 153

Figura 2.54 – Comparação entre a vazão média mensal na estação Ponte da Batalha (38895000) e a precipitação registrada no mesmo período na estação pluviométrica de mesmo nome Ponte da Batalha (735036). 154

Figura 2.55 – Curva de permanência de vazões da estação Fazenda Almas (38690000) localizada no Rio Guaju, na bacia do Rio Guaju. 155

Figura 2.56 – Curva de permanência de vazões da estação Mulungu (38750000) localizada no Rio Mamanguape, na bacia do Rio Mamanguape. 156

Figura 2.57 – Curva de permanência de vazões da estação Ponte do Leitão (38790000) localizada no Rio Mamanguape, na bacia do Rio Mamanguape. 156

Figura 2.58 – Curva de permanência de vazões da estação Sítio Passagem (38771000) localizada no Rio Aracají, na bacia do Rio Mamanguape. 157

Figura 2.59 – Curva de permanência de vazões da estação Caraúbas (38830000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Alto Rio Paraíba. 157

Figura 2.60 – Curva de permanência de vazões da estação Poço de Pedras (38850000) localizada no Rio Taperoá, na bacia do Rio Taperoá, região do Alto Rio Paraíba. 158

Figura 2.61 – Curva de permanência de vazões da estação Bodocongo (38860000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Médio Rio Paraíba. 158

Figura 2.62 – Curva de permanência de vazões da estação Guarita (38880000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Baixo Rio Paraíba. 159

Figura 2.63 – Curva de permanência de vazões da estação Engenho Santana (38888000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Baixo Rio Paraíba. 159

Figura 2.64 – Curva de permanência de vazões da estação Ponte da Batalha (38895000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Baixo Rio Paraíba. 160

Figura 2.65 – Vazões específicas das bacias hidrográficas do SAPP. 164

Figura 2.66 – Evolução temporal do perfil transversal do Rio Guaju, no local da estação Fazenda Almas (38690000). 165

Figura 2.67 – Comparação entre duas seções transversais distintas do Rio Mamanguape. .. 166

Figura 2.68 – Evolução temporal do perfil transversal do Rio Mamanguape, no local da estação Mulungu (38750000). 167

Figura 2.69 – Evolução temporal do perfil transversal do Rio Mamanguape, no local da estação Ponte do Leitão (38790000). 167

Figura 2.70 – Comparação entre cinco seções transversais distintas do Rio Paraíba. 168

Figura 2.71 – Evolução temporal do perfil transversal no Alto Rio Paraíba, no local da estação Caraúbas (38830000). 168

Figura 2.72 – Evolução temporal do perfil transversal no Médio Rio Paraíba, no local da estação Bodocongo (38860000). 169

Figura 2.73 – Evolução temporal do perfil transversal no Baixo Rio Paraíba, no local da estação Guarita (38880000). 169

Figura 2.74 – Evolução temporal do perfil transversal no Baixo Rio Paraíba, no local da estação Ponte da Batalha (38895000). 170

Figura 2.75 – Hidrograma com períodos representativos de sazonalidades e padrões comportamentais. 171

Figura 2.76 – Valor de -1/k a partir da curva exponencial referente ao período de recessão (constante y) do hidrograma. 172

Figura 2.77 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Fazenda Almas (38690000). 175

Figura 2.78 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Mulungu (38750000). 175

Figura 2.79 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Sítio Passagem (38771000). 176

Figura 2.80 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Ponte do Leitão (38790000). 176

Figura 2.81 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Guarita (38880000). 176

Figura 2.82 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Engenho Santana (38888000). 177

Figura 2.83 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Ponte da Batalha (38895000). 177

Figura 2.84 – Vazão específica subterrânea das bacias hidrográficas do SAPP. 180

Figura 2.85 – Localização dos poços de monitoramento do aquífero livre encontrados na coleta de dados. 185

Figura 2.86 – Localização dos poços de monitoramento do aquífero confinado encontrados na coleta de dados. 189

Figura 2.87 – Localização dos poços de monitoramento de qualidade da água encontrados na coleta de dados. 190

Figura 2.88 – Linha do tempo do monitoramento de águas subterrâneas executado pelo grupo da UFPB. 192

Figura 2.89 – Cota do nível de água do piezômetro 2600008444. 193

Figura 2.90 – Cota do nível de água do piezômetro 2600047473. 193

Figura 2.91 – Cota do nível de água do piezômetro 2600047476. 194

Figura 2.92 – Cota do nível de água do piezômetro 2600047480. 194

Figura 2.93 – Cota do nível de água do piezômetro PZ08. 195

Figura 2.94 – Distribuição das unidades hidroestratigráficas aflorantes na área de estudo (CPRM, 2004). 210

Figura 2.95 – Mapa de contorno estrutural do embasamento da Bacia Paraíba. 216

Figura 2.96 – Mapa de espessuras totais dos aquíferos da Bacia Paraíba. 218

Figura 2.97 – Monitoramento de níveis de água de um aquífero livre. (A) Ciclos sazonais de recarga por chuvas e descarga natural; (B) Variações por efeito de marés terrestres. 220

Figura 2.98 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE (dados de Costa *et al.*, 2007). 226

Figura 2.99 – Correlação altitude do terreno *versus* cota do NE com filtro para pontos com NE≤ a 15 m e NE > 15 m. 227

Figura 2.100 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 256 poços com profundidades de até 50 m (cadastro SIAGAS). 228

Figura 2.101 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 399 poços com profundidades maiores do que 100 m (cadastro SIAGAS). 229

Figura 2.102 – Mapa potenciométrico dos aquíferos rasos da Bacia Paraíba. 230

Figura 2.103 – Espessuras saturadas do SAPP. 232

Figura 2.104 – Distribuição das reservas hídricas permanentes do SAPP. 236

Figura 2.105 – Distribuição das reservas hídricas reguladoras do SAPP. 238

Figura 2.106 – Distribuição das disponibilidades da reserva hídrica renovável do SAPP. 241

Figura 2.107 – Distribuição das disponibilidades da reserva hídrica permanente do SAPP. 243

Figura 2.108 – Distribuição das disponibilidades anuais totais do SAPP. 245

Figura 2.109 – Mapa hidrogeológico da área de estudo (CPRM, 2019). 247

Figura 2.110 – Distribuição estatística do nível estático, nível dinâmico e profundidade dos poços cadastrados no SIAGAS – Grupo 1. 252

Figura 2.111 – Distribuição estatística do nível estático e profundidade dos poços cadastrados no SIAGAS – Grupo 2. 253

Figura 2.112 – Distribuição estatística de nível estático, nível dinâmico e profundidade dos poços cadastrados no SIAGAS – Grupo 3. 254

Figura 2.113 – Poços onde foram realizadas as coletas de água subterrânea para a caracterização hidroquímica. 258

Figura 2.114 – Diagrama de Piper com a classificação iônica das análises químicas das bases de Costa *et al.* (2007), CDRM (MEDEIROS, 2007), CAGEPA e UFPB. 260

Figura 2.115 – Mapa com a classificação iônica dos pontos amostrados confrontados com a base do IBGE. 261

Figura 2.116 – Gráficos box-plot indicando a variação da condutividade elétrica ao longo das unidades aquíferas identificadas. 262

Figura 2.117 – Diagrama de salinidade indicando o risco de salinização e o risco de sódio para as unidades aquíferas estudadas. 264

Figura 2.118 – Mapa com a classificação das águas quanto à salinidade confrontados com a base do IBGE. 265

Figura 2.119 – Gráfico colunar com os diferentes usos dos poços analisados do ponto de vista hidroquímico do banco de dados do SISÁGUA. 269

Figura 2.120 – Gráfico coluna indicando a quantidade de amostras conformes ou não quanto a portaria número 5 de 2017 do Ministério da saúde do banco de dados doces água por unidade aquífera. 269

Figura 2.121 – Mapa com a localização dos postos doce água e a classificação quanto à potabilidade pelo IBGE. 270

Figura 2.122 – Demandas para abastecimento público por município. 278

Figura 2.123 – Demandas para abastecimento público por município do BD-Consolidado. ... 279
Figura 2.124 – Demandas para abastecimento público por bacia hidrográfica. ... 280
Figura 2.125 – Demandas para abastecimento público por bacia hidrográfica do BD-Consolidado. ... 281
Figura 2.126 – Mapa da localização das demandas para abastecimento público do BD-Consolidado. ... 282
Figura 2.127 – Demandas para consumo humano por município nas diferentes bases de dados. ... 285
Figura 2.128 – Demandas para consumo humano por município no BD-Consolidado. ... 286
Figura 2.129 – Demandas para consumo humano por bacia hidrográfica nas diferentes bases de dados. ... 287
Figura 2.130 – Demandas para consumo humano por bacia hidrográfica no BD-Consolidado. ... 288
Figura 2.131 – Mapa da localização das demandas para consumo humano do BD-Consolidado. ... 289
Figura 2.132 – Demandas para irrigação por município nas diferentes bases de dados. ... 292
Figura 2.133 – Demandas para irrigação por município no BD-Consolidado. ... 293
Figura 2.134 – Demandas para irrigação por bacia hidrográfica nas diferentes bases de dados. ... 294
Figura 2.135 – Demandas para irrigação por bacia hidrográfica no BD-Consolidado. ... 295
Figura 2.136 – Mapa da localização das demandas para irrigação do BD-Consolidado. ... 296
Figura 2.137 – Demandas para indústria por município nas diferentes bases de dados. ... 300
Figura 2.138 – Demandas para indústria por município no BD-Consolidado. ... 301
Figura 2.139 – Demandas para indústria por bacia hidrográfica nas diferentes bases de dados. ... 302
Figura 2.140 – Demandas para indústria por bacia hidrográfica no BD-Consolidado. ... 303
Figura 2.141 – Mapa da localização das demandas para indústria e agroindústria do BD-Consolidado. ... 304
Figura 2.142 – Demandas para aquicultura por município no BD-Consolidado. ... 307
Figura 2.143 – Demandas para aquicultura por bacia hidrográfica no BD-Consolidado. ... 308
Figura 2.144 – Mapa da localização das demandas para aquicultura do BD-Consolidado. ... 309
Figura 2.145 – Demandas para criação animal por município na BD-Usos. ... 313
Figura 2.146 – Demandas para criação animal por bacia hidrográfica na BD-Usos. ... 314
Figura 2.147 – Mapa da localização das demandas para criação animal da BD-Usos. ... 315
Figura 2.148 – Demandas para mineração por município na BD-Usos. ... 317
Figura 2.149 – Demandas para mineração por bacia hidrográfica na BD-Usos. ... 318
Figura 2.150 – Mapa da localização das demandas para mineração da BD-Usos. ... 319
Figura 2.151 – Síntese das demandas superficiais por município (m³/s). ... 323
Figura 2.152 – Síntese das demandas subterrâneas por município (m³/s). ... 324

Figura 2.153 – Síntese das demandas por bacia hidrográfica. 325

Figura 2.154 – Mapa da localização das demandas totais distribuídas em superficial e subterrânea. 326

Figura 2.155 – Mapa da localização das demandas subterrâneas por município. 331

Figura 3.1 – Mapa geológico da porção sul do SAPP (CPRM, 2004). 339

Figura 3.2 – Área de ocorrência da Formação Gramame, segundo Barbosa *et al.* (2007), delimitada sobre mapa geológico da CPRM (2004). 340

Figura 3.3 – Mapa de isópacas da Formação Gramame na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. Fonte: Barbosa *et al.* (2007). 341

Figura 3.4 – Poços com descrição litológica extraídos do cadastro SIAGAS, plotados sobre a área da Formação Gramame, definida por Barbosa *et al.* (2007). 343

Figura 3.5 – Mapa de localização das seções geológicas apresentadas da Figura 3.6 à Figura 3.9. 345

Figura 3.6 – Seção geológica 1 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas. 347

Figura 3.7 – Seção geológica 2 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas. 348

Figura 3.8 – Seção geológica 3 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas. 349

Figura 3.9 – Seção geológica 4 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas. 350

Figura 3.10 – Delimitação da área de ocorrência da unidade Gramame na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. 351

Figura 3.11 – Mapa de isópacas da Formação Gramame na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. 352

Figura 3.12 – Variações sazonais do nível de água subterrânea em cursos superficiais, lagos e áreas de planícies úmidas. Observa-se a descarga de água subterrânea nos corpos de água superficiais nos períodos mais úmidos [a e b] e a recarga do aquífero no período seco [c]. Fonte: Woessner, 2020. 359

Figura 3.13 – Modelo conceitual de condições de fluxo contínuo ou “flow-through conditions” sob regime permanente e condições isotrópicas e homogêneas (WOESSNER, 2020). 360

Figura 3.14 – Exemplo de região classificada como área de descarga e uma ilustração do porquê na região central da bacia hidrográfica do rio Mamanguape. 361

Figura 3.15 – Áreas potenciais de recarga e áreas de descarga do SAPP. 363

Figura 3.16 – Distribuição da recarga total do SAPP na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. 364

Figura 3.17 – Análise em SIG realizada com os quatro fatores. Fonte: Adaptado de Yeh *et al.* (2016). 369

Figura 3.18 – Representação dos fatores considerados para a análise de favorabilidade de recarga subterrânea. 370

Figura 3.19 – Mapa de áreas favoráveis para a ocorrência de recarga subterrânea. 371

Figura 3.20 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Guaju. 373

Figura 3.21 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Camaratuba. 374

Figura 3.22 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Mamanguape. 375

Figura 3.23 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Miriri. 376

Figura 3.24 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do baixo Paraíba. 377

Figura 3.25 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Gramame. 378

Figura 3.26 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Abiaí. 379

Figura 3.27 – Correlação altitude do terreno versus cota do NE com filtro para pontos com NE≤ a 15 m e NE > 15 m. 384

Figura 3.28 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 256 poços com profundidades de até 50 m (cadastro SIAGAS). 385

Figura 3.29 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 399 poços com profundidades maiores do que 100 m (cadastro SIAGAS). 386

Figura 3.30 – Potenciometria e direções de fluxo do subsistema livre do SAPP. 388

Figura 3.31 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Guaju. 389

Figura 3.32 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Camaratuba. .. 390

Figura 3.33 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Mamanguape. 391

Figura 3.34 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Miriri. 392

Figura 3.35 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Baixo Paraíba. 393

Figura 3.36 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Baixo Paraíba na região da conurbação de João Pessoa. 394

Figura 3.37 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Gramame. 395

Figura 3.38 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Abiaí. 396

Figura 3.39 – Sistemas locais, intermediários e regionais de fluxo de água subterrânea (FREEZE e CHERRY, 1979). 397

Figura 3.40 – A: Mapa potenciométrico do SAPP elaborados por Costa *et al.* (2007); B: Mapa potenciométrico do subsistema confinado elaborado pelo Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017). 399

Figura 3.41 – Mapa potenciométrico do subsistema confinado subjacente ao Aquitardo Gramame. 400

Figura 3.42 – Variação da carga hidráulica no poço de monitoramento P-09. 402

Figura 3.43 – Flutuações de níveis de água de monitoramento de longo termo do subsistema confinado em poços do RIMAS/CPRM. 404

Figura 3.44 – Variação dos níveis de água do subsistema confinado em poços monitorados no Projeto BRAMAR. 405

Figura 3.45 – Modelo conceitual de fluxo subterrâneo do SAPP em área do Aquitardo Gramame. 408

Figura 3.46 – Modelo conceitual de fluxo subterrâneo do SAPP em área de não ocorrência do Aquitardo Gramame. 409

Figura 3.47 – Mapa de intensidade de explotação do SAPP. 414

Figura 4.1 – Exemplo de aplicação da curva de recessão manual. Fonte: Healy (2002). 422

Figura 4.2 – Recarga obtida pelo método WTF usando interpolação espacial na Bacia do Gramame..... 431

Figura 4.3 – Diferentes origens do escoamento em um rio. Fonte: Melati, 2018. 434

Figura 4.4 – Curva de permanência de diversas estações fluviométricas na área de estudo. 435

Figura 4.5 – Minibacias e sub-bacias do modelo hidrológico. 438

Figura 4.6 – Mapa de classes hidrológicas da paisagem (HLC) da BHPS. 439

Figura 4.7 – Modelo Hidrológico MGB e geração de vazões a partir de diferentes compartimentos. Fonte: Melati *et al.*, 2023. 442

Figura 4.8 – Minibacias com os totais escoados superficialmente (mm). 443

Figura 4.9 – Precipitação total média anual entre 1994 e 2022 nas minibacias usadas para cálculo do balanço hídrico. 445

Figura 4.10 – Evapotranspiração real anual média da área de estudo na minibacias utilizadas para o balanço hídrico. 447

Figura 4.11 – Relação entre a precipitação total anual média e totais de recarga (mm) em cada minibacia avaliada. 449

Figura 4.12 – Relação entre a precipitação total anual média e totais de recarga (% da chuva) em cada minibacia avaliada. 449

Figura 4.13 – Resultados espaciais na unidade de minibacia para a recarga subterrânea total média anual (mm). 450

Figura 4.14 – Resultados da recarga subterrânea com dados de altimetria, declividades e uso e ocupação do solo. 451

Figura 4.15 – Resultados da recarga subterrânea com as variáveis precipitação, evapotranspiração real e escoamento superficial do balanço hídrico. 452

Figura 4.16 – Representação dos satélites da missão GRACE e dados globais. Fonte: Melati *et al.* (2022). 453

Figura 4.17 – Resultados mensais de TWS para a região da área de estudo. 455

Figura 4.18 – Aumento anual das reservas armazenadas na região usando o TWS do GRACE. 455

Figura 4.19 – Comparação entre os métodos de forma espacial. 457

Figura 4.20 – Comparação entre os métodos WTF e BH em poços com ao menos três anos de dados. 458

Figura 4.21 – Fluxograma de decisão para escolha do método de cálculo de recarga a ser utilizado. 459

Figura 4.22 – Seções verticais usadas no cálculo da recarga do aquífero confinado. 464

Figura 4.23 – Mapa dos temas utilizados para a ponderação e primeira aproximação para a definição das zonas e subzonas de gerenciamento. 469

Figura 4.24 – Mapa resultante dos temas ponderados por relevância para outorga: uso do solo, conexão com ecossistemas, densidade de poços, recarga e vulnerabilidade. 470

Figura 4.25 – Mapa dos critérios utilizados para a definição final das zonas e subzonas de gerenciamento no SAPP. 472

Figura 4.26 – Mapa do resultado das subzonas de gerenciamento para o SAPP. 473

Figura 4.27 – Mapa das subzonas de gerenciamento do SAPP, dos usos do solo, municípios e potenciais fontes de contaminação. 474

Figura 4.28 – Mapa das subzonas de gerenciamento para o SAPP sobreposto ao resultado da relevância para outorga. 486

Figura 4.29 – Potencialidade no sistema aquífero livre, sistema aquífero confinado. 488

Figura 4.30 – Resultados da disponibilidade no sistema aquífero livre, sistema aquífero confinado, disponibilidade total e balanço hídrico em cada subzona de gerenciamento. 493

Figura 4.31 – Índice de comprometimento hídrico da disponibilidade nas zonas de gerenciamento. 494

Figura 4.32 – Resultados espacializados dos Índices de Sustentabilidade Hídrica para cada subzona de gerenciamento. 499

Figura 4.33 – Zonas de gerenciamento definidas a partir de critérios de criticidade quanto à disponibilidade hídrica. 502

Figura 5.1 – Fluxograma do processo de seleção de poços e áreas para compor a rede de monitoramento. 513

Figura 5.2 – Mapa de localização de poços existentes indicados para inserção na rede de monitoramento do SAPP. 521

Figura 5.3 – Mapa de localização das estações fluviométricas e pluviométricas nas subzonas de gerenciamento do SAPP utilizadas no diagnóstico. 527

Figura 5.4 – Distribuição dos pontos de outorga das águas subterrâneas no SAPP. 530

Figura 5.5 – Distribuição dos pontos de monitoramento quali-quantitativo propostos para o SAPP. 535

Figura 5.6 – Mapa das áreas prioritárias para instalação de poços de monitoramento no SAPP. 538

Figura 5.7 – Ligação Típica / Sensor Hidrostático. 542

Figura 5.8 – Aquisição transmissão e análise de dados em poços de monitoramento. 555

Figura 6.1 – Exemplo de tabela resumo com os dados litológicos de um poço. 571

Figura 6.2 – Exemplo de perfil litológico e construtivo de um poço. 572

Figura 6.3 – Exemplo de perfil construtivo de um poço. 573

Figura 6.4 – Subzonas de gerenciamento para o SAPP. 579

Figura 6.5 – Representação dos parâmetros de entrada da equação de Glover (1959) e valores utilizados para estimativa da distância da interface água doce/água salgada da linha de costa. 583

Figura 6.6 – Profundidade da cunha salina em função da distância da linha de costa. 584

Figura 6.7 – Mapa da classificação das zonas de gerenciamento. 586

Figura 6.8 – Mapa de vulnerabilidade para o SAPP. 589

Figura 6.9 – Espessura do aquitardo Gramame. 595
Figura 6.10 – Fluxograma de procedimento de concessão ou deferimento de outorga. 604

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Origem das informações que compõe o BD Poços. 32

Quadro 2.2 – Número de poços com dados para os diferentes tipos de informação para os 4.139 registros levantados na área do SAPP. 33

Quadro 2.3 – Classificação do relevo em função das classes de declividade do terreno (EMBRAPA, 1979). 59

Quadro 2.4 – Grupos Hidrológicos dos Solos. 65

Quadro 2.5 – Áreas de distribuição dos grupos hidrológicos de solos, por bacia hidrográfica, da área de estudo do SAPP. 68

Quadro 2.6 – Distribuição percentual dos grupos hidrológicos de solos, por bacia hidrográfica, da área de estudo do SAPP. 68

Quadro 2.7 – Descrição das classes de uso e ocupação do solo consideradas. 71

Quadro 2.8 – Quantitativos das classes de uso e ocupação do solo na área de estudo. 72

Quadro 2.9 – Distribuição das classes de uso e ocupação do solo por bacia hidrográfica. 76

Quadro 2.10 – Uso do solo em APP por Bacia Hidrográfica. 87

Quadro 2.11 – População e densidade demográfica dos municípios. 90

Quadro 2.12 – Indicadores socioeconômicos dos municípios. 94

Quadro 2.13 – Estações pluviométricas localizadas na área do SAPP. 104

Quadro 2.14 – Estações pluviométricas da AESA localizadas na área do SAPP. 105

Quadro 2.15 – Estações pluviométricas da CAGEPA localizadas na área do SAPP. 108

Quadro 2.16 – Estações pluviométricas do CEMADEN localizadas na área do SAPP. 108

Quadro 2.17 – Estações pluviométricas da ANA/CPRM, INMET, DNOCS, DNOS e SUDENE localizadas na área do SAPP. 109

Quadro 2.18 – Estações pluviométricas selecionadas para a elaboração dos mapas de isoietas na área do SAPP e seu entorno. 110

Quadro 2.19 – Diagrama de Gantt com a disponibilidade temporal dos dados das estações pluviométricas selecionadas. 115

Quadro 2.20 – Parâmetros estatísticos das séries mensais de precipitação preenchidas (1994 a 2022). 116

Quadro 2.21 – Anomalias de precipitação anual em relação à média do período (1994-2022). 125

Quadro 2.22 – Estações pluviométricas utilizadas para a análise das precipitações em três períodos distintos (1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022). 126

Quadro 2.23 – Bacias hidrográficas influentes na área do SAPP. 138

Quadro 2.24 – Estações fluviométricas localizadas nas bacias influentes da área do SAPP. . 138

Quadro 2.25 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Guaju. 141

Quadro 2.26 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Camaratuba. 141

Quadro 2.27 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Mamanguape. 141

Quadro 2.28 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Miriri. 142

Quadro 2.29 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Paraíba. 142

Quadro 2.30 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Gramame. 145

Quadro 2.31 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Abiaí. 145

Quadro 2.32 – Estações fluviométricas selecionadas para a caracterização do escoamento superficial das bacias de influência da área do SAPP. 145

Quadro 2.33 – Vazões características no local das estações fluviométricas, considerando o período de dados entre 1970 e 2021. 161

Quadro 2.34 – Vazões características no local das estações fluviométricas, considerando o período de dados entre 2000 e 2021. 161

Quadro 2.35 – Vazões específicas das bacias hidrográficas do SAPP. 165

Quadro 2.36 – Valores de k e BFImax utilizados para aplicação dos filtros matemáticos de separação dos escoamentos e proporção do fluxo de base obtido em relação à vazão total monitorada. 174

Quadro 2.37 – Vazões subterrâneas e vazões específicas subterrâneas médias no local das estações fluviométricas, para o período compreendido entre 2008 e 2022. 178

Quadro 2.38 – Vazões específica subterrâneas das bacias hidrográficas do SAPP. 179

Quadro 2.39 – Estudos realizados pelo grupo de recursos hídricos da UFPB sobre águas subterrâneas. 181

Quadro 2.40 – Poços de monitoramento do aquífero livre levantados na fase de coleta de dados. 183

Quadro 2.41 – Informações sobre os poços utilizados para monitoramento do aquífero confinado. 187

Quadro 2.42 – Informações sobre os poços utilizados para monitoramento do aquífero confinado utilizados no Projeto BRAMAR. 187

Quadro 2.43 – Parâmetros estatísticos dos parâmetros de qualidade da água subterrânea. . 196

Quadro 2.44 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Ago-2010). 198

Quadro 2.45 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Set-2010). 199

Quadro 2.46 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Out-2010). 200

Quadro 2.47 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Nov-2010). 201

Quadro 2.48 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Dez-2010). 202

Quadro 2.49 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Fev-2011). 203

Quadro 2.50 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Abr-2011). 204

Quadro 2.51 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Jun-2011). 205

Quadro 2.52 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Jul-2011). 206

Quadro 2.53 – Distribuição, características e natureza das unidades hidroestratigráficas presentes na área de estudo..... 209

Quadro 2.54 - Profundidades do embasamento cristalino obtidas em SEVs e poços (SIAGAS). 214

Quadro 2.55 – Dados de nível estático (NE) de poços levantados por Costa *et al.* (2007). 221

Quadro 2.56 – Valores de porosidade efetiva..... 235

Quadro 2.57 – Reservas hídricas permanentes do SAPP..... 235

Quadro 2.58 – Reservas hídricas subterrâneas renováveis do SAPP. 237

Quadro 2.59 – Reservas hídricas subterrâneas totais do SAPP. 239

Quadro 2.60 – Disponibilidades das reservas hídricas renováveis do SAPP. 240

Quadro 2.61 – Disponibilidades anuais das reservas hídricas permanentes do SAPP. 242

Quadro 2.62 – Disponibilidades hídricas anuais totais do SAPP. 244

Quadro 2.63 – Classes de vazão e parâmetros hidrodinâmicos das unidades hidroestratigráficas representadas no mapa hidrogeológico da Figura 2.109. 248

Quadro 2.64 – Resultados dos ensaios de bombeamento (COSTA *et al.*, 2007). 249

Quadro 2.65 – Parâmetros hidrodinâmicos estatísticos do Aquífero Barreiras..... 250

Quadro 2.66 – Parâmetros hidrodinâmicos estatísticos do Aquífero Beberibe. 250

Quadro 2.67 – Parâmetros hidrodinâmicos estatísticos dos aquíferos não identificados. 250

Quadro 2.68 – Número mínimo de amostras mensais no projeto VIGIAGUA..... 268

Quadro 2.69 – Soma dos números previstos e analisados para as cidades da área de estudo. 268

Quadro 2.70 – Tabela de referência para perdas nos municípios no estado da Paraíba. 275

Quadro 2.71 – Demandas em m³/s para abastecimento público por município..... 276

Quadro 2.72 – Demandas em m³/s para abastecimento público por bacia hidrográfica..... 280

Quadro 2.73 – Valores de per capita utilizados para as estimativas de demanda da população rural. 283

Quadro 2.74 – Demandas em m³/s para consumo humano por município. 283

Quadro 2.75 – Demandas em m³/s para consumo humano por bacia hidrográfica. 287

Quadro 2.76 – Demandas em m³/s para irrigação por município. 290

Quadro 2.77 – Demandas em m³/s para irrigação por bacia hidrográfica. 294

Quadro 2.78 – Demandas em m³/s para uso industrial por município..... 298

Quadro 2.79 – Demandas em m³/s para uso industrial por bacia hidrográfica. 302

Quadro 2.80 – Produção da aquicultura no Estado da Paraíba (ano base 2017)..... 305

Quadro 2.81 – Demandas em m³/s para aquicultura por município cadastradas no BD-Consolidado..... 306

Quadro 2.82 – Demandas em m³/s para aquicultura por bacia hidrográfica cadastradas no BD-Consolidado..... 308

Quadro 2.83 – Tipos de rebanhos e coeficientes técnicos utilizados. 310

Quadro 2.84 – Tamanhos e tipos dos rebanhos por municípios. 311

Quadro 2.85 – Demandas em m³/s para criação animal por município estimadas na BD-Usos. 312

Quadro 2.86 – Demandas em m³/s para criação animal por bacia hidrográfica estimadas na BD-Usos. 313

Quadro 2.87 – Demandas em m³/s para mineração por município estimadas na BD-Usos. ... 316

Quadro 2.88 – Demandas em m³/s para mineração por bacia hidrográfica estimadas na BD-Usos. 318

Quadro 2.89 – Síntese das demandas distribuídas por município (m³/s). 321

Quadro 2.90 – Síntese das demandas distribuídas por bacia hidrográfica (m³/s). 322

Quadro 2.91 – Demandas por faixa de profundidade das captações (m³/s). 328

Quadro 2.92 – Demandas subterrâneas por município (m³/s). 329

Quadro 2.93 – Demandas subterrâneas por bacia hidrográfica (m³/s). 330

Quadro 2.94 – Resumo dos resultados de disponibilidade e reservas do SAPP. 336

Quadro 3.1 – Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos encontrados para os diferentes aquíferos do SAPP. 354

Quadro 3.2 – Caracterização dos fatores influenciando a ocorrência da recarga subterrânea e pesos atribuídos aos fatores. 368

Quadro 3.3 – Áreas favoráveis a ocorrência da recarga subterrânea para cada bacia hidrográfica. 372

Quadro 3.4 – Áreas favoráveis a ocorrência da recarga subterrânea para a região urbana de João Pessoa. 378

Quadro 3.5 – Características dos poços de monitoramento da CPRM. 403

Quadro 4.1 – Resultado da recarga (mm) em poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba. 425

Quadro 4.2 – Resultado da recarga (mm) em poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. 425

Quadro 4.3 – Resultado da precipitação (mm) na proximidade de poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba. 426

Quadro 4.4 – Resultado da precipitação (mm) na proximidade de poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. 426

Quadro 4.5 – Resultado da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba. 427

Quadro 4.6 – Resultado da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. 427

Quadro 4.7 – Resultado dos valores médios da recarga (mm), precipitação (mm) e da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba. 428

Quadro 4.8 – Resultado dos valores médios da recarga (mm), precipitação (mm) e da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. 428

Quadro 4.9 – Resultado da calibração do modelo hidrológico. 441

Quadro 4.10 – Resultados dos métodos de recarga subterrânea em áreas coincidentes. 457

Quadro 4.11 – Resultados dos métodos de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do rio Gramame..... 459

Quadro 4.12 – Cálculo da recarga subterrânea do aquífero confinado. 463

Quadro 4.13 – Resultado médio do preenchimento dos pesos para matemática de *rasters* que subsidiou a definição das subzonas de gerenciamento. 466

Quadro 4.14 – Resultado médio do preenchimento das notas para matemática de *rasters* que subsidiou a definição de zonas e subzonas de gerenciamento. 467

Quadro 4.15 – Resumo das principais características das subzonas de gerenciamento na área do SAPP. 483

Quadro 4.16 – Resumo das fontes pontuais de poluição das subzonas de gerenciamento na área do SAPP. 484

Quadro 4.17 – Resumo das fontes difusas de poluição das subzonas de gerenciamento na área do SAPP. 484

Quadro 4.18 – Resumo das áreas de mineração das subzonas de gerenciamento na área do SAPP. 485

Quadro 4.19 – Potencialidade nas subzonas de gerenciamento do SAPP. 488

Quadro 4.20 – Escalas do Índice de Comprometimento Hídrico. 490

Quadro 4.21 – Relação entre disponibilidade e demanda nas subzonas de gerenciamento do SAPP. 492

Quadro 4.22 – Comparação entre os índices de Sustentabilidade hídrica do trabalho de Costa (2009) e o presente trabalho para a bacia hidrográfica do Baixo Paraíba. 497

Quadro 4.23 – Comparação entre os índices de Sustentabilidade hídrica do trabalho de Costa (2006) e o presente trabalho para a bacia do rio Mamanguape. 497

Quadro 4.24 – Resultado dos Índices de Sustentabilidade Hídrica para cada subzona de gerenciamento. 498

Quadro 4.25 – Classificação das zonas em relação às subzonas e ao índice de criticidade. . 501

Quadro 4.26 – Parâmetros avaliados para cada zona de gerenciamento. 501

Quadro 5.1 – Parâmetros hidroquímicos de análise padrão da CPRM. 509

Quadro 5.2 – Dados cadastrais de poços levantados neste estudo. 514

Quadro 5.3 – Levantamento de poços pré-selecionados para inserção na rede de monitoramento do SAPP. 518

Quadro 5.4 – Locais selecionados para localização de poços para a rede de dedicação exclusiva. 524

Quadro 5.5 – Densidade de poços por subzona de gerenciamento. 531

Quadro 5.6 – Distribuição dos pontos escolhidos para a rede de monitoramento do SAPP por subzonas de gerenciamento. 532

Quadro 5.7 – Priorização das subzonas de gerenciamento para instalação de poços de monitoramento..... 537
Quadro 5.8 – Prioridade por subzonas. 539
Quadro 5.9 – Especificações do transdutor de pressão (sensor de nível). 543
Quadro 5.10 – Especificações dos sensores de monitoramento automático da qualidade. 545
Quadro 5.11 – Parâmetros químicos de monitoramento. 550
Quadro 5.12 – Parâmetros físico-químicos de monitoramento. 550
Quadro 5.13 – Parâmetros microbiológicos de monitoramento. 551
Quadro 5.14 – Parâmetros orgânicos de monitoramento. 551
Quadro 5.15 – Parâmetros agroquímicos de monitoramento. 552
Quadro 5.16 – Especificações da UTR. 556
Quadro 6.1 – Classificação dos poços de acordo com profundidade e vazão. 567
Quadro 6.2 – Prioridades de uso da água para outorga. 568
Quadro 6.3 – Indicativos da ocorrência de salinização. 581
Quadro 6.4 – Classificação das zonas realizada no capítulo 4. 585
Quadro 6.5 – Parâmetros de qualidade para águas subterrâneas. 590
Quadro 6.6 – Cálculo dos raios de influência para os aquíferos Beberibe e Barreiras. 592
Quadro 6.7 – Resumo dos critérios aplicados em cada subzona. 599

1 INTRODUÇÃO

Este documento refere-se à atividade 5.8 dos Termos de Referência dos “Estudos hidrogeológicos sobre as áreas de recarga no Sistema Paraíba-Pernambuco com a elaboração do mapa de zonas de gerenciamento e elaboração de proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas do estado da Paraíba”, que trata do “Relatório final do Projeto”.

Em atendimento aos Termos de Referência, o presente documento resume os resultados relevantes, as conclusões e recomendações obtidas em cada um dos relatórios parciais emitidos ao longo do desenvolvimento do projeto.

Neste contexto, contempla um conjunto de capítulos que remetem aos resultados, conclusões e apontamentos de cada etapa do projeto (relatórios parciais), a saber:

(a) Diagnóstico do conhecimento sobre a área de estudo baseado em informações disponíveis e diagnóstico da situação atual da rede de monitoramento:
“2 - DIAGNÓSTICO”

(b) Modelo conceitual com identificação das áreas de recarga do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco:
“3 - MODELO CONCEITUAL”

(c) Delimitação de zonas e subzonas de gerenciamento, incluindo estimativas de potencial e disponibilidade das águas subterrâneas:
“4 - ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO”

(d) Proposta para rede de monitoramento quali-quantitativa de água subterrânea:
“5 - PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA”

(e) Propostas de diretrizes e critérios técnicos para outorgas de acordo com as zonas de gerenciamento:
“6 - DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA OUTORGA DO USO DA ÁGUA NA REGIÃO DO SAPP”

Compõe ainda o presente documento o capítulo de “CONSIDERAÇÕES FINAIS” e o item relativo às referências de dados secundários utilizados no estudo denominado “REFERÊNCIAS”.

2 DIAGNÓSTICO

A região costeira que faz parte da bacia sedimentar Paraíba-Pernambuco e do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco (SAPP) no estado da Paraíba tem experimentado um crescimento progressivo na perfuração de poços. Esta área possui grande potencial de águas subterrâneas e abriga a região metropolitana da Grande João Pessoa que tem passado por um processo de desenvolvimento econômico e social. Esse desenvolvimento está diretamente ligado à forma como os recursos naturais são utilizados, sendo a água um elemento fundamental e crítico nesse contexto.

O SAPP possui uma área de 4.356 km² e ocupa aproximadamente 7% do estado da Paraíba. Ocorre na microrregião da zona da Mata Paraibana apresentando características geoclimáticas únicas que podem ser prontamente identificadas com base no modelado do relevo da bacia sedimentar costeira ali existente e de seu posicionamento perante o Planalto da Borborema, justificando-se sua distinção em relação ao restante do estado da Paraíba.

Segundo Costa *et al.* (2007), a Bacia Pernambuco-Paraíba ocupa o litoral dos Estados de Pernambuco e Paraíba, estendendo-se desde a cidade de Recife, onde é limitada pelo Lineamento Pernambuco, até o vale do Rio Camaratuba, ao norte de João Pessoa, estando separada da bacia Potiguar a norte, pelo Alto de Touros, e da bacia de Alagoas a sul, pelo Alto de Maragogi. Sobre a região do SAPP contemplada pela área de estudo, situam-se os municípios com maior PIB do estado e a maior área urbana (Figura 2.1).

Os reservatórios subterrâneos componentes do SAPP integram as unidades hidroestratigráficas Beberibe, Gramame, Barreiras e Coberturas Sedimentares, identificadas pelos mesmos nomes atribuídos às unidades litoestratigráficas que os encerram. As Coberturas Sedimentares reúnem os depósitos aluvionares, sedimentos de praias, dunas e coberturas colúvio-eluviais e têm expressão hidrogeológica secundária e acessória, assim como os calcários da formação Gramame, considerados como um aquitardo por diversos autores (p. ex. COSTA *et al.*, 2007). As demais unidades hidroestratigráficas constituem aquíferos importantes no contexto hidrogeológico da região costeira, principalmente a Beberibe e a Barreiras (COSTA *et al.*, 2007).

A Figura 2.1 apresenta o mapa da área de estudo e a configuração da rede hidrográfica destacando-se as bacias drenantes para a zona litorânea onde encontram-se os depósitos sedimentares do SAPP. Em termos de tipologias aquíferas, 16,4% da área do estudo está representada por rochas dos Sistemas Cristalinos perfazendo um total de 852,91 km². Quanto aos Sistemas Aquíferos Sedimentares, estes estão representados por 83,6% cuja área equivale a 4.151 km². Nesse caso, ressalta-se aqui a exclusão da porção sedimentar da margem esquerda do rio Guaju situada no estado de Rio Grande do Norte (representada por 56,3% cuja área equivale a 198,92 km²).

O Diagnóstico apresenta o panorama atual da área de estudo em relação a seus aspectos físicos, climáticos, sociais e também sobre a situação geral do entendimento e monitoramento das águas subterrâneas. Dessa forma, visa subsidiar a construção do modelo conceitual, a delimitação das zonas e subzonas de gerenciamento, a estimativa do potencial e disponibilidade de águas subterrâneas, a proposição de uma rede de monitoramento quali-quantitativa e a proposição de diretrizes e critérios técnicos para outorgas.

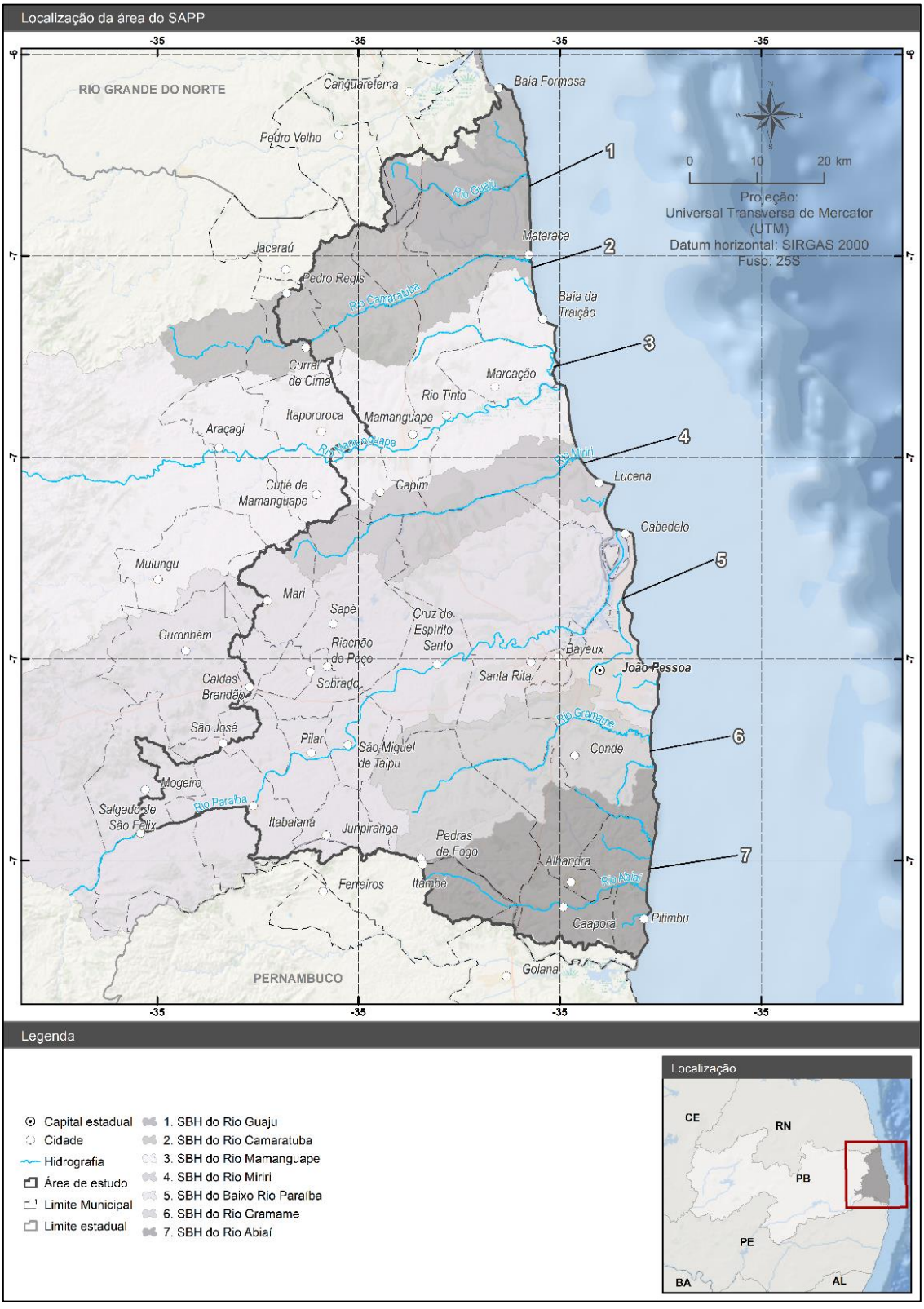


Figura 2.1 – Localização da área de estudo no litoral do estado da Paraíba e as principais bacias hidrográficas.

2.1 BANCO DE DADOS

Neste item é apresentado o levantamento de dados das fontes utilizadas para as análises técnicas dos temas tratados na etapa de diagnóstico do conhecimento hidrogeológico e da situação atual da rede de monitoramento. Neste contexto, foi elaborado um Banco de Dados do projeto a fim de disponibilizar as informações de forma estruturada e consolidada. Este Banco de Dados apresenta as informações levantadas de diversas fontes conforme descrito em cada capítulo temático sendo estruturado em cinco compartimentos de informações:

- Banco de Dados Hidroclimatológicos – BD Clima;
- Banco de Dados SIG – BD SIG;
- Banco de Dados de Usos Consuntivos – BD Usos;
- Banco de Dados de Poços – BD Poços;
- Banco de Dados Consolidade – BD Consolidado.

O Banco de Dados é um arquivo digital entregue anexo a este documento, intitulado Anexo I - Anexo digital – Banco de Dados no formato PostgreSQL, sendo cada compartimento armazenado em um *schema*. Além disso, cada compartimento foi entregue em formatos diferentes, visando facilitar o acesso por serem aplicáveis a programas mais usuais que o PostgreSQL. Vale ressaltar que as informações contidas em ambos os formatos são as mesmas.

Por fim, o Anexo II deste documento traz as Diretrizes de Manuseio do Banco de Dados do projeto.

2.1.1 *Banco de Dados Hidroclimatológicos – BD Clima*

O BD Clima é constituído das séries históricas de registros pluviométricos e fluviométricos utilizados nas análises apresentadas no item 2.2.5. A origem dos dados, o período de obtenção e outras características como disponibilidade e consistência estão detalhadas no item 2.2.5.

Este compartimento é apresentado no *schema* BD Clima, no PostgreSQL, e é composto por duas tabelas do banco de dados, a saber: “estacoespluviometricas” e

"estacoesfluviometricas". As mesmas informações são apresentadas nos arquivos em formato MS Excel: "estacoespluviometricas.xlsx" e "estacoesfluviometricas.xlsx".

2.1.2 *Banco de Dados SIG – BD SIG*

O BD SIG consiste em todas as feições espaciais utilizadas para a confecção dos diversos mapas apresentados ao longo do trabalho. Esse compartimento é apresentado no *schema* BD SIG, no PostgreSQL, que contém um conjunto de feições em formato vetorial com tabelas associadas e entidades em formato matricial. Além disso, as mesmas informações são apresentadas em arquivos *shapefile* e *raster* organizados segundo cada tema. A origem de cada um deles é descrita em um arquivo entregue juntamente ao banco, denominado "Metadados", no qual estão descritas questões como origem da informação, escala de obtenção, ano, entre outras.

2.1.3 *Banco de Dados de Usos Consuntivos – BD Usos*

Este banco de dados é obtido do trabalho denominado Usos Consuntivos de Água no Brasil (ANA, 2022). Um detalhamento de como essa informação é utilizada está descrito em detalhes no item 2.2.8.

Este compartimento é apresentado no *schema* BD Usos, no PostgreSQL, e é composto por uma tabela do banco de dados, a saber: "0104_rg_bd_usos". As mesmas informações são apresentadas nos arquivos em formato MS Excel: "0104_rg_bd_usos.xlsx".

2.1.4 *Banco de Dados de Poços - BD Poços*

O BD Poços é originado a partir de uma série de fontes distintas, por isso, passou por uma consolidação. Os itens 2.2.6 e 2.2.7 discorrem detalhadamente sobre a origem de cada grupo de informações e utilizam as informações contidas no BD Poços em suas análises para avaliar aspectos hidrogeológico e hidrogeoquímicos. O item 2.2.8 utiliza o BD Poços para avaliar as demandas hídricas por finalidade.

Os conjuntos de dados que foram incorporados ao BD Poços e suas respectivas origens estão descritas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Origem das informações que compõe o BD Poços.

Conjunto de Dados	Descrição
SIAGAS	O SIAGAS é um banco de dados de poços tubulares, consolidado pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB (CPRM).
AESA	Banco de Outorgas de poços disponibilizados à consultora pela AESA em 2023.
Costa *et al.* (2007)	Estudo de Caracterização e Verificação da Disponibilidade Hídrica da Vertente Litorânea do Estado Paraíba (DHVL-PB) realizado no ano de 2007. No âmbito do projeto foi feito um cadastro de campo, tendo como ponto de partida os poços profundos registrados no banco da AESA e no SIAGAS na época do estudo. Nesse trabalho foi realizada uma extensa campanha de campo e conforma um dos principais estudos de águas subterrâneas no estado da Paraíba, sendo, consequentemente, uma das principais referências do estudo em tela.
CAGEPA	Informações de poços administrados pela CAGEPA.
RIMAS	Rede de monitoramento contínua de poços administrada pela CPRM.
UFPB	Estudos realizados pelo grupo de recursos hídricos da UFPB sobre águas subterrâneas.
SISAGUA / VIGIAGUA	O Sisagua é um instrumento do Vigiagua que tem como finalidade auxiliar o gerenciamento de riscos à saúde a partir dos dados gerados rotineiramente pelos profissionais do setor saúde (Vigilância) e responsáveis pelos serviços de abastecimento de água (Controle) e da geração de informações em tempo hábil para planejamento, tomada de decisão e execução de ações de saúde relacionadas à água para consumo humano.

A seguir, são descritas as etapas de consolidação do BD Poços:

1. Consolidação dos conjuntos de dados de forma individual por fonte;
2. Normalização e compatibilização dos campos dos conjuntos de dados;
3. Ajustes de coordenadas a um mesmo sistema de referência;
4. Junção dos conjuntos de dados em um banco unificado;
5. Validação dos registros inseridos no banco unificado. Os dados de todas as entradas de registro do banco foram analisados segundo sua proximidade. Para todas as ocorrências de proximidade encontradas foi realizada uma conferência por coincidência dos demais campos dos registros, o que permitiu a identificação de possíveis entradas de registros duplicados. Um detalhamento dos critérios de distância e coincidência de informações utilizados está apresentado no Anexo III;
6. Validação nos dados referentes à vazão: Foi criado um campo [Validacao] que apresenta um índice de confiabilidade que varia entre os valores 1 e 5, onde 1

representa um registro muito confiável e 5 representa um registro pouco confiável.

O BD Poços é apresentado no *schema* BDPocos do banco de dados em formato PostgreSQL e no arquivo em formato MS Excel nominado “BD Pocos.xls”.

Após todo o refinamento realizado no BD poços, este ficou com um total de 7.863 linhas, sendo 4.139 dentro da área de estudo. O Quadro 2.2 apresenta o número de dados existente para cada tipo de informação.

Quadro 2.2 – Número de poços com dados para os diferentes tipos de informação para os 4.139 registros levantados na área do SAPP.

Rótulos de Linha	Profundidade	Nível Estático	Nível Dinâmico	Vazão
Abiaí	113	113	113	129
Atlântico Sul N/NE	1.499	922	553	24
Bacia do rio Abiaí	85	25	56	34
Bacia do rio Camaratuba	42	20	28	90
Bacia do rio Gramame	176	60	122	4
Bacia do rio Guaju	3	3	3	55
Bacia do rio Mamanguape	80	35	52	14
Bacia do rio Miriri	35	10	14	396
Bacia do rio Paraíba	632	297	413	883
Baixo Curso do Rio Paraíba	829	824	825	17
Camaratuba	14	13	13	155
Gramame	138	136	136	1
Guaju	1	1	1	18
Mamanguape	16	16	15	24
Miriri	20	20	20	129
Sem informação	7	0	0	0
Total Geral	**3.690**	**2.495**	**2.364**	**1.844**

Além dessas informações, o BD Poços possui uma tabela auxiliar com os dados obtidos do Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017) em que são apresentados os dados de nível em várias datas.

2.1.5 *Banco de Dados Consolidado – BD Consolidado*

Banco de dados que reúne as informações do BD Poços soma a essas as informações de outorgas para água superficial. Este banco de dados totaliza 1.789 registros sendo 7.863 registros associados à poços e 2.926 associados à captação superficial.

2.2 DIAGNÓSTICO POR TEMAS

O diagnóstico reúne as informações básicas necessárias ao desenvolvimento das etapas seguintes, e traz a análise do conhecimento atual sobre as águas subterrâneas no SAPP no estado da Paraíba contextualizado a partir da integração dos seguintes temas: geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo, clima e hidrologia, hidrogeologia e demandas hídricas.

2.2.1 *GEOLOGIA*

A base geológica adotada como referência neste diagnóstico foi elaborada pela CPRM (2004) na escala 1:1.000.000 e disponibilizada no formato *shapefile*. Para a representação foi feito um recorte desse mapa para a área de estudo e entorno permitindo a visualização da distribuição das unidades litoestratigráficas e das principais estruturas geológicas que cortam as rochas pré-cambrianas. Neste contexto, as estruturas lineares que seccionam os sedimentos meso-cenozoicos da Bacia Paraíba, interpretadas como falhas normais por Costa *et al.* (2007), foram inseridas no mapa geológico, assim como os blocos estruturais por elas delimitados.

Destaca-se que os estudos, as pesquisas e as publicações relevantes, listadas nas referências desta análise, complementaram as informações sobre o arcabouço geológico da área, em especial sobre empilhamento litoestratigráfico e compartimentação estrutural das unidades meso-cenozoicas constituintes do SAPP.

2.2.1.1 Caracterização geológica

A Bacia Paraíba está localizada na margem leste da Província Borborema (Figura 2.2) e abrange a faixa sedimentar costeira que existe desde o Lineamento Pernambuco, nas proximidades da cidade de Recife, até o Alto Estrutural de Mamanguape, ao norte de João Pessoa (BARBOSA e LIMA FILHO, 2005).

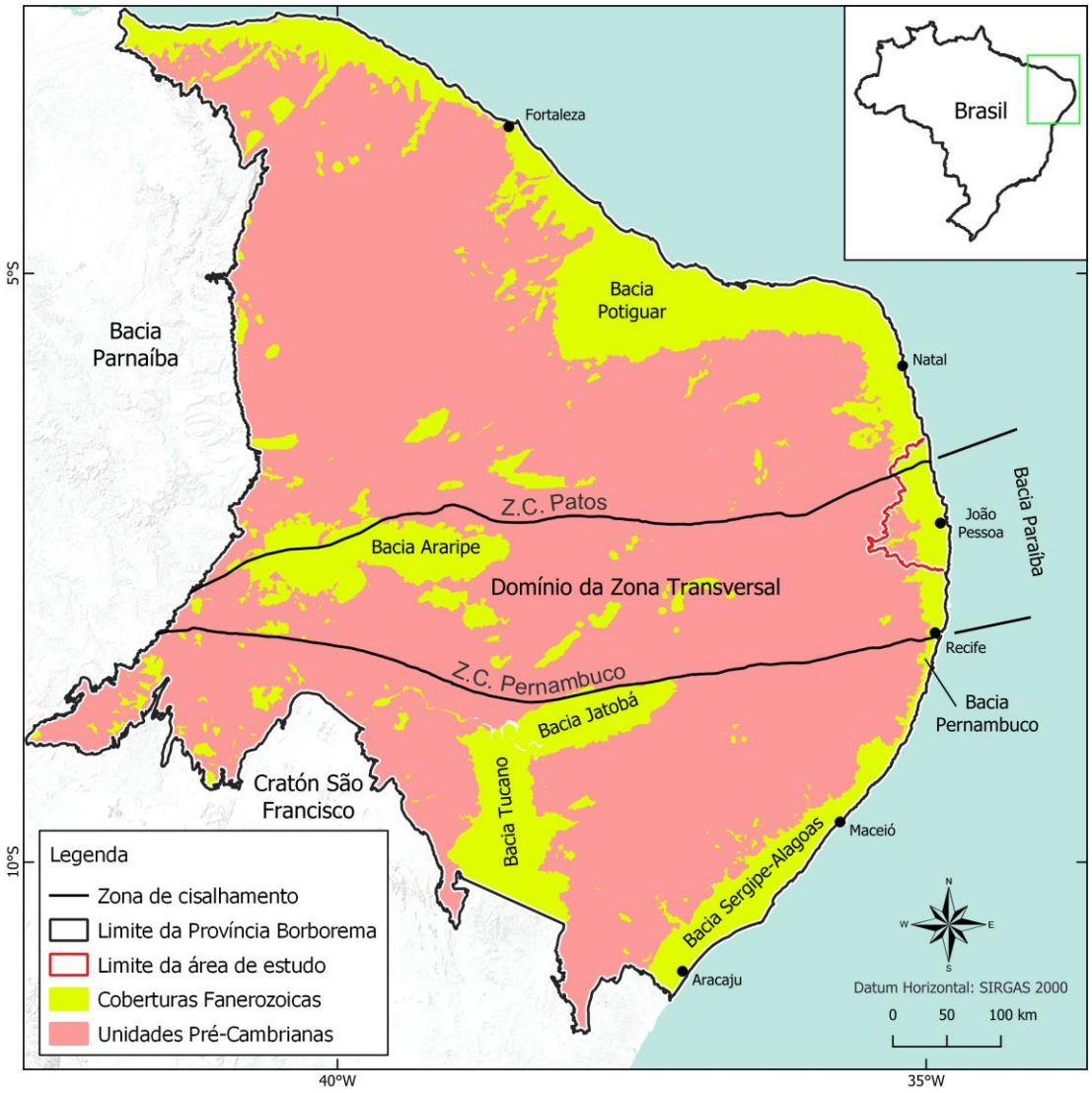


Figura 2.2 – Contexto geológico regional da área de estudo na Província Borborema.

A Bacia Paraíba é uma das bacias da margem continental brasileira originadas pela ruptura do Gondwana e abertura do Atlântico Sul. Possui área emersa de 7.600 km^2 e área submersa de cerca de 31.400 km^2 que se estende pela plataforma continental até a cota batimétrica de 3.000 m abaixo do nível do mar (BARBOSA, 2004).

A evolução tectônica e os estágios de subsidência das bacias da margem passiva da placa sul-americana apresentam sequências estratigráficas diferentes (Mohriak, 2003). A Bacia Paraíba teve uma evolução tardia, a partir de um processo de estiramento crustal, não evoluindo para uma bacia tipicamente rifte e seu preenchimento sedimentar teve início, provavelmente, no Cretáceo superior, diferindo das demais bacias marginais

(BARBOSA e LIMA FILHO, 2005). Apesar de ser composta por uma sucessão simples de depósitos continentais, transicionais e marinhos, não existem informações detalhadas sobre o arcabouço estrutural desses depósitos e de seus estratos mais profundos.

A Bacia Paraíba é subdividida em três sub-bacias (Figura 2.3) com base na estratigrafia e tectônica, sendo elas: sub-bacia Olinda, Alhandra e Miriri. A sub-bacia Olinda fica localizada entre a Zona de Cisalhamento de Pernambuco e a Falha de Goiana; as sub-bacias de Alhandra e Miriri estão fixadas em um depocentro limitado na faixa costeira pela falha de Mamanguape, a norte, e pela Falha de Itabaiana, a sul (BARBOSA e LIMA FILHO, 2005; BARBOSA *et al.*, 2007). As sub-bacias de interesse neste estudo são as de Alhandra e Miriri.

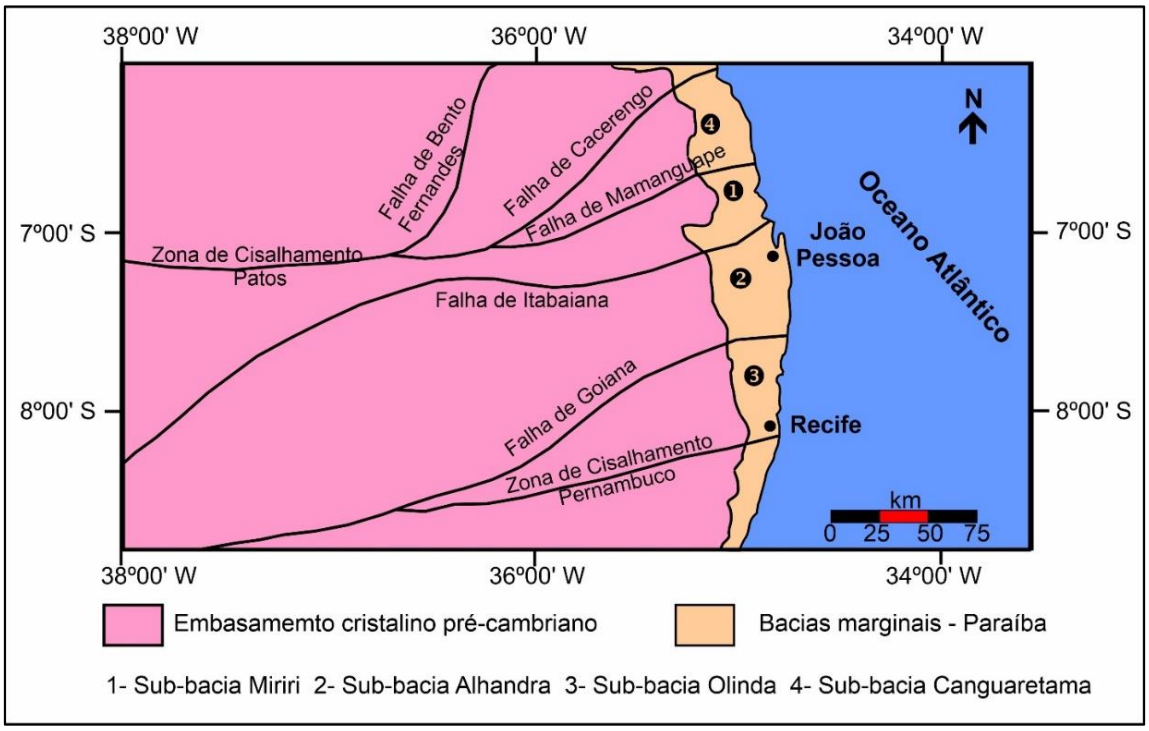


Figura 2.3 – Bacias marginais, sub-bacias e embasamento pré-cambriano adjacente na porção leste dos estados da Paraíba e Pernambuco (modificado de Barbosa *et al.*, 2003).

O embasamento dessas sub-bacias é constituído, principalmente, por terrenos paleoproterozoicos e neoproterozoicos da Província Borborema, suturados durante a colagem orogênica do Brasiliano (Pan-Africana) em ~750–500 Ma, e delimitados por zonas de cisalhamento dúcteis (BRITO NEVES *et al.*, 2000). Essas zonas de cisalhamento pré-cambrianas tiveram grande importância na evolução das bacias

costeiras da faixa Recife-Natal, exercendo controle na compartimentação e preenchimento sedimentar (BARBOSA *et al.*, 2007). As linhas de falha transcorrentes e normais, com direções NE-SW e E-W, cortam as unidades cretáceas, terciárias e quaternárias da zona costeira; muitas delas correspondem a reativações de estruturas pré-cambrianas ou cretáceas, responsáveis pela formação de grabens e horsts (BRITO NEVES *et al.*, 2004). Costa *et al.* (2007), por sua vez, argumentam que essas falhas parecem não afetar significativamente os sedimentos mesozoicos e salientam a necessidade da realização de estudos comprobatórios.

As diferenças no estilo estrutural das sub-bacias Alhandra/Miriri e Olinda são marcantes (Figura 2.4), como mostradas por Barbosa e Lima Filho (2005). A profundidade média do embasamento nas sub-bacias Alhandra/Miriri é de 300 m, enquanto na sub-bacia de Olinda é de mais de 400 m, com altos estruturais internos (horsts) que delimitam estruturas em grabens. Duas áreas onde o embasamento se encontra mais rebaixado correspondem aos depocentros de Itamaracá e João Pessoa.

Segundo Costa *et al.* (2007), a Bacia Paraíba pode ser subdivida em blocos estruturais delimitados por falhas normais (Figura 2.4 e Figura 2.5), abaixo assinalados:

- **Bloco Camaratuba**, limitado ao sul pela Falha de Pirpirituba (ramificação da Zona de Cisalhamento de Patos), com o limite norte ultrapassando a fronteira entre a Paraíba e o Rio Grande do Norte;
- **Bloco Mamanguape**, limitado ao norte pela Falha de Pirpirituba e ao sul pela Falha de Mamanguape (desenvolvida ao longo do rio homônimo). Esse bloco se comporta como um graben em relação aos dois outros blocos ao norte e ao sul;
- **Bloco Miriri**, de menor largura, limitado ao norte pela Falha de Mamanguape e ao sul pela Falha de Miriri (encaixada no curso do rio homônimo). Esse bloco se encontra alçado na forma de um horst;
- **Bloco Paraíba**, que ocupa a maior área da bacia sedimentar costeira, limitado ao norte pela Falha de Miriri e ao sul e sudeste pela Falha de Cabedelo (expressão do falhamento que originou a Bacia Paraíba);
- **Bloco João Pessoa-Pitimbu**, limitado ao noroeste pela Falha de Cabedelo e a

sudoeste pela Falha de Mata Redonda (originada pela reativação da Micro-Placa Nordeste);

- **Bloco Alhandra-Pedra de Fogo**, limitado ao norte-noroeste pelo ramo final da Falha de Cabedelo e ao nordeste pela Falha de Mata Redonda.

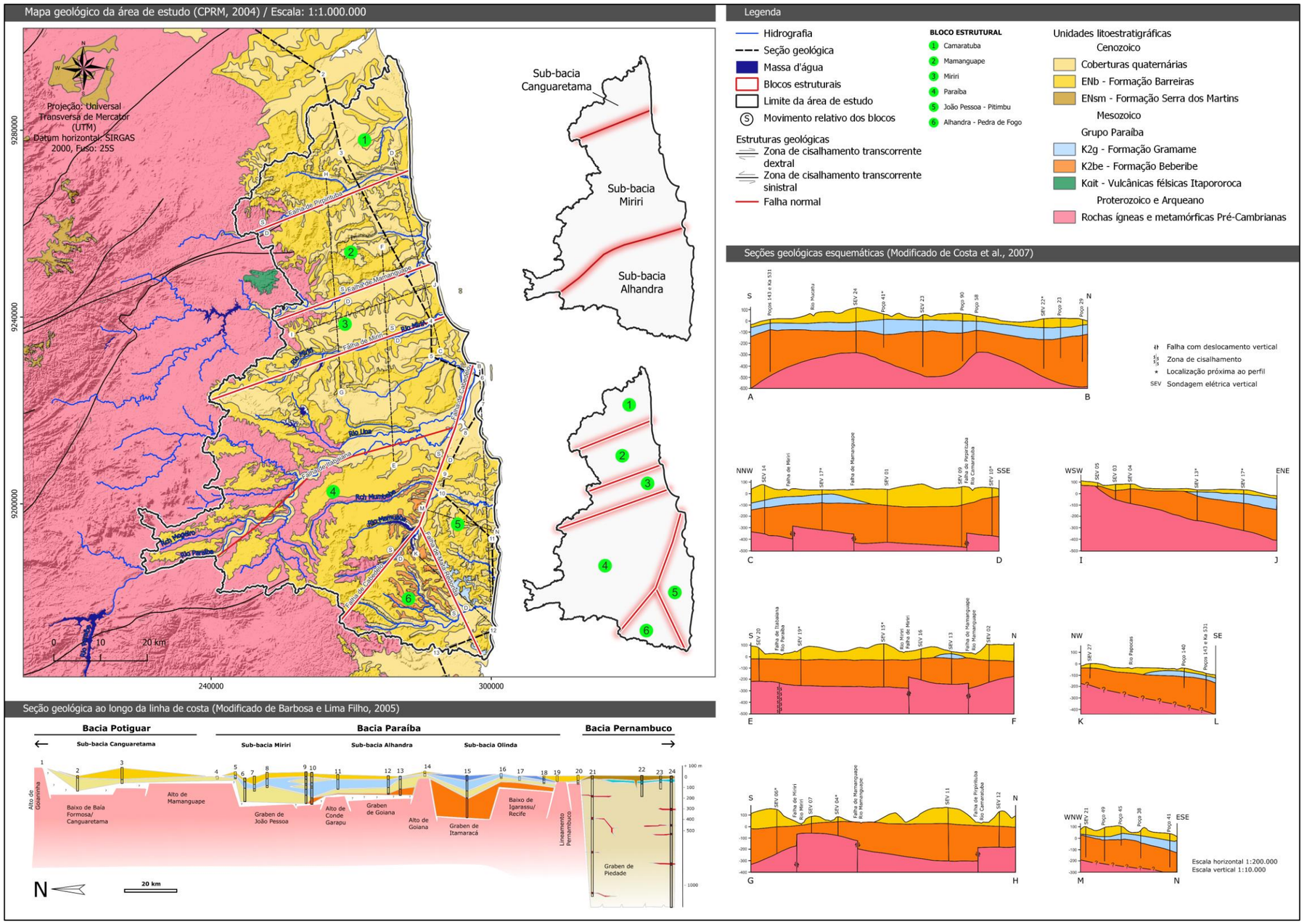


Figura 2.4 – Mapa geológico da área de estudo (CPRM, 2004) e seções geológicas interpretadas por Barbosa e Lima Filho (2005) e Costa *et al.* (2007). No mapa são identificadas as sub-bacias sedimentares e os blocos estruturais delimitados por Costa *et al.* (2007).

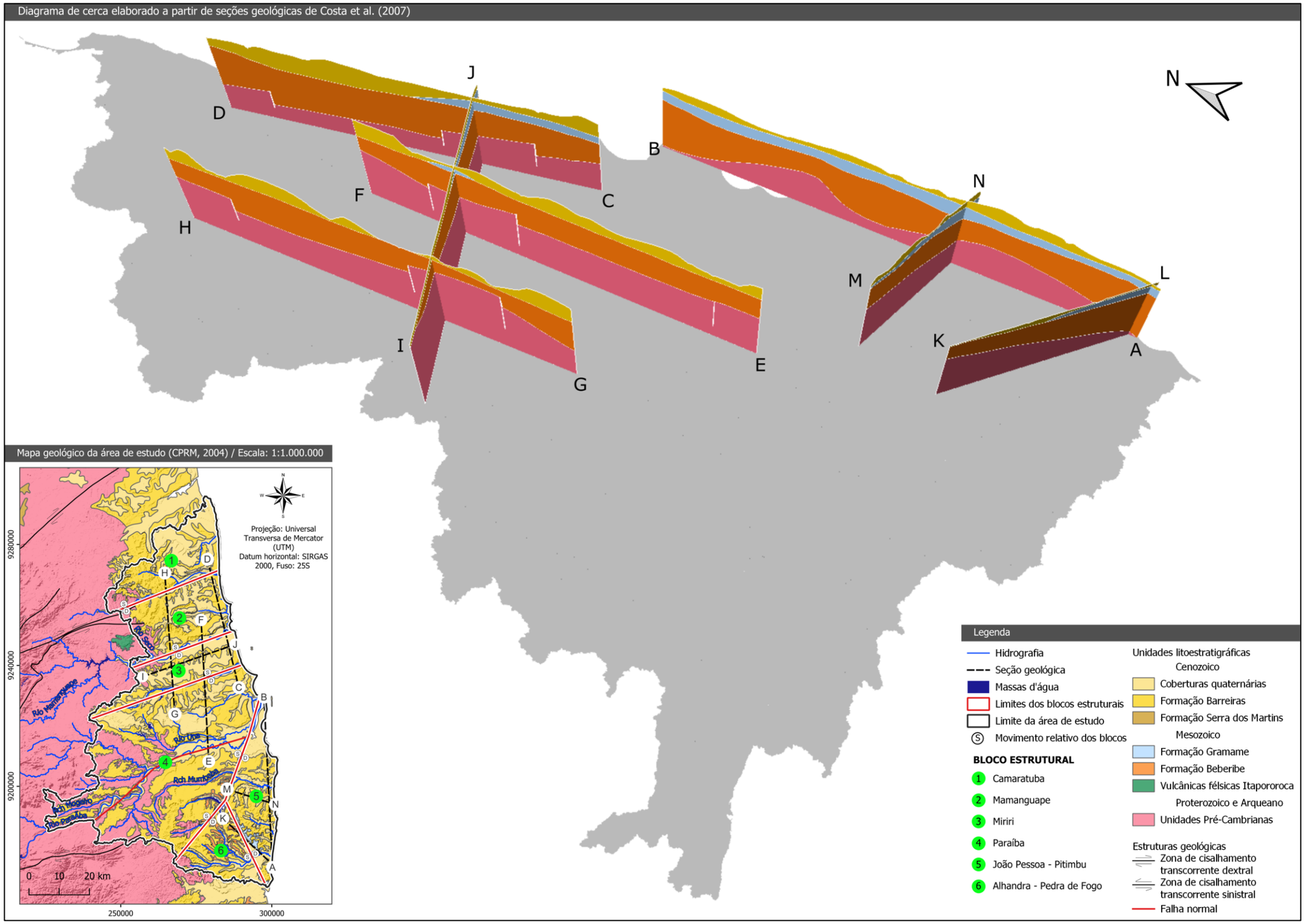


Figura 2.5 – Diagrama de cerca ilustração a disposição das unidades sedimentares da bacia Paraíba. Fonte: seções geológicas elaborada por Costa *et al.* (2007).

As sub-bacias de Alhandra/Miriri e Olinda são formadas por de blocos estruturais, delimitados por falhas de direção NE-SW (Figura 2.6), que se comportam como um suave homoclinal inclinado para leste no sentido da linha de costa (BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003; 2007).

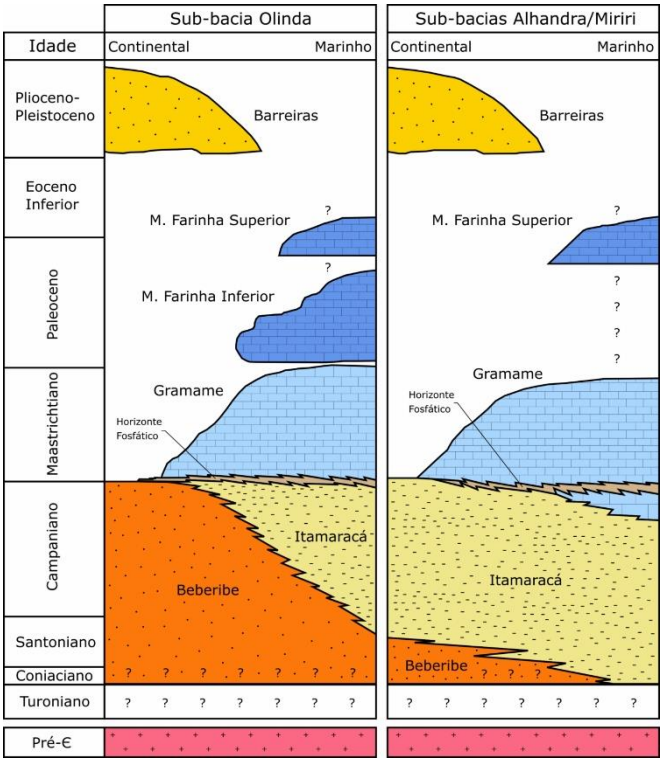


Figura 2.6 – Coluna litoestratigráfica das sub-bacias de Olinda e Alhandra/Miriri (BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003).

As cotas do embasamento (Figura 2.7) estimadas por modelagem de dados de poços feita por Barbosa *et al.* (2007) mostram, no geral, uma variação desde 140 m, na porção ocidental da área, a -300 m na porção oriental da área, e a inclinação predominante da rampa homoclinal é de menos de 1%, com variações maiores que podem alcançar até 3,7% em algumas áreas.

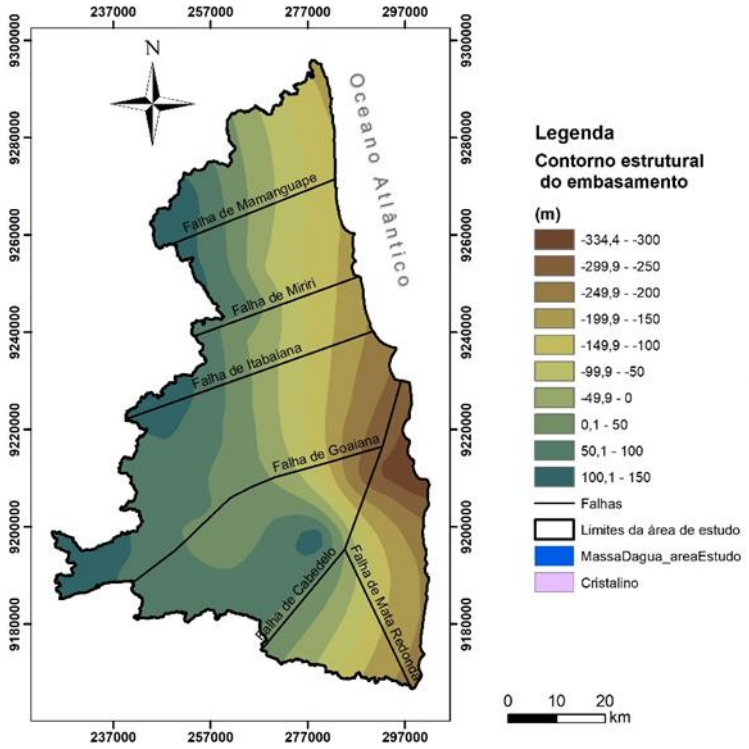


Figura 2.7 – Contorno estrutural do embasamento e as principais estruturas geológicas presentes na área estudada (superfície remodelada a partir de dados extraídos de Barbosa *et al.*, 2007).

A Bacia Paraíba, em sua parte emersa, foi preenchida por depósitos sedimentares do Neocretáceo (Coniaciano) ao Plioceno-Pleistoceno, materializados nas formações Beberibe, Itamaracá, Gramame, Maria Farinha e Barreiras. Essas unidades apresentam características distintas nas sub-bacias de Olinda e Alhandra/Miriri (Figura 2.6). As sequencias envolvem um ciclo de subsidência mais intenso, representado por: (i) sedimentos clásticos da Formação Beberibe; (ii) uma sequência transgressiva, constituída pelos clásticos da Formação Itamaracá e os calcários e sedimentos fosfáticos da Formação Gramame; (iii) uma sequência francamente marinha, da Formação Maria Farinha, representada por calcários com intercalações argilosas; e (iv) uma sequência sobreposta final da Formação Barreiras, na qual se desenvolveram os sedimentos aluviais (BARBOSA e LEMOS, 2001).

A unidade basal da Megassequência Cretácea/Terciária da Bacia do Paraíba é composta pelos sedimentos clásticos da Formação Beberibe, constituídos por arenitos continentais médios a grossos, variando até arenitos conglomeráticos de ambientes flúvio-lacustres, assentados em discordância sobre o embasamento cristalino

(BEURLEN, 1967, apud BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003). A Formação Beberibe é mais expressiva na sub-bacia de Olinda, onde preencheu o Graben de Itamaracá com espessa cunha siliciclástica flúvio-lacustre (BARBOSA *et al.*, 2007). Sua espessura é superior a 300 m (NÓBREGA e ALHEIROS, 1991).

A Formação Itamaracá, logo acima, representa uma unidade de transição para a fase marinha, com depósitos costeiros de estuários e lagoas contendo fósseis de ambiente marinho salobro e níveis de fosfato sedimentar no topo da unidade (40 cm a 2 m de espessura). É composta por depósitos de arenitos carbonáticos, folhelhos e carbonatos com siliciclastos, ricamente fossilífero. Sua espessura média é de aproximadamente 200 m (BEURLEN, 1967). Ocorre sobre a Formação Beberibe em uma situação de *onlap* devido ao pulso transgressivo Campaniano e parece ter maior expressão na sub-bacia Alhandra-Miriri (BARBOSA *et al.*, 2007).

A Formação Gramame é representada por calcários e margas depositados em uma plataforma carbonática não muito profunda, entre 100 m e 150 m (FAUTH e KOUTSOUKOS, 2002, apud BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003). Ocorre como uma plataforma de geometria estreita e alongada, próxima à faixa litorânea entre Recife e João Pessoa e representa o estágio de mar alto. Sua espessura média é de 50 m (COSTA *et al.,* 2007).

A Formação Maria Farinha inclui calcários, calcários margosos e espessos níveis de marga na porção inferior, e calcários dolomíticos detríticos, contendo fauna fóssil de recifes e lagoas recifais na porção superior (BEURLEN, 1967, apud BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003). A espessura máxima encontrada para essa formação é de 70 m (COSTA *et al.*, 2007) e a unidade representa a continuação da sequência calcária da Formação Gramame.

Sobre as unidades cretácicas e paleocênicas assentam-se os depósitos de origem continental da Formação Barreiras, depositados em sistemas fluviais e aluviais (BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003). Os sedimentos da Formação Barreiras provêm basicamente dos produtos resultantes da ação do intemperismo sobre o embasamento cristalino, aflorante no interior do continente (GOPINATH *et al.*, 1993). A espessura da Formação Barreiras no estado da Paraíba varia entre 70 m e 80 m (LEAL e SÁ, 1998).

A presença dos fosforitos na Formação Itamaracá constitui um marco litoestratigráfico radioativo, pois ocorre em toda a bacia e marca uma superfície marinho-transicional extensa ou uma Superfície de Inundação Máxima (LIMA FILHO *et al.*, 1998). Segundo esses autores, os fosforitos marcam o topo da Formação Itamaracá.

A diferenciação entre as unidades litoestratigráficas da Bacia Paraíba em campo e, consequentemente o seu mapeamento, não é tarefa fácil. Furrier *et al.* (2006) argumenta que, na ausência da Formação Gramame, a distinção do contato entre as formações Barreiras e Beberibe/Itamaracá é extremamente difícil, pela falta de uma camada intermediária com características bem distintas, separando ambas as unidades.

Segundo Costa *et al.* (2007), existem fortes indícios de que boa parte da área mapeada como Formação Barreiras corresponda, de fato, à Formação Beberibe. Esses autores consideram importante a realização de trabalhos específicos voltados para a atualização da geologia da Bacia Paraíba.

Muitas dúvidas ainda envolvem a estratigrafia, a bioestratigrafia e o arcabouço estrutural da Bacia Paraíba em seus diferentes compartimentos. Apesar de ser composta por uma sucessão simples de depósitos continentais e marinhos, não existem informações de subsuperfície detalhadas sobre o arcabouço estrutural desses depósitos e de seus estratos mais profundos (BARBOSA, 2004). Embora o cadastro de poços do SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil – reúna mais de 1.700 poços na área estudada, apenas 129 deles contemplam descrições litológicas e apenas 8 deles atingem o embasamento mais profundo, entre 148 m e 364 m. Se a distinção entre as unidades litoestratigráficas da Bacia Paraíba em superfície é difícil, é praticamente impossível a partir de descrições de amostras de calha de relatórios de perfuração. Esse diagnóstico concorda com a apreciação feita por Barbosa (2004).

O poço que atravessou toda a sucessão sedimentar da Bacia Paraíba, utilizado para individualização das unidades litoestratigráficas em subsuperfície, foi o “2-IST-01-PE” (Figura 2.8), perfurado pela Petrobras na sub-bacia de Olinda, no estado de Pernambuco (BARBOSA, 2004). A interpretação da perfilagem geofísica distinguiu a Formação Beberibe assentada em discordância sobre o embasamento cristalino, seguida da Formação Itamaracá por sua vez capeada pelos sedimentos calcíferos das

formações Gramame e Maria Farinha. Informações de subsuperfície (poços profundos), no entanto, sugerem um afinamento da Formação Itamaracá na sub-bacia de Alhandra e um espessamento da Formação Beberibe nas sub-bacias de Miriri e Alhandra (BARBOSA, J. A. *et al.*, 2003). Todavia, essas questões de caráter litoestratigráfico ainda não podem ser esclarecidas com base nos dados disponíveis.

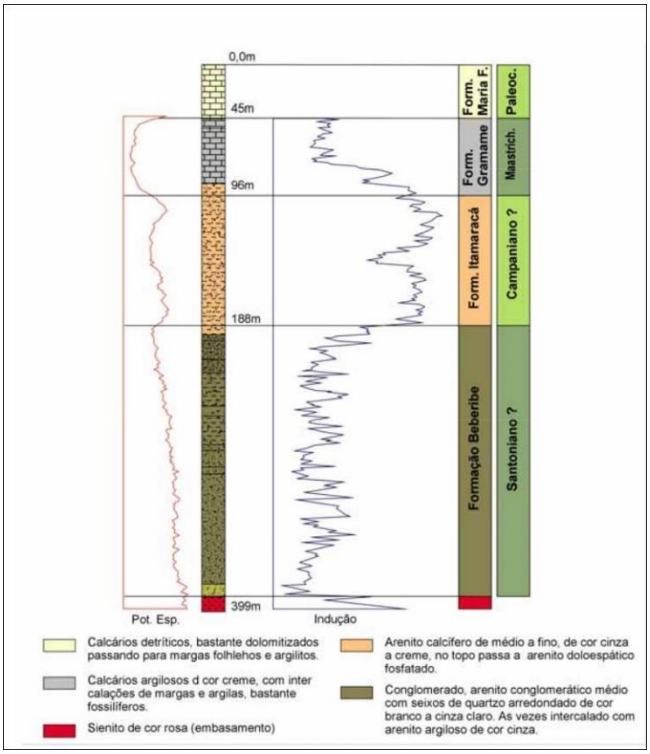


Figura 2.8 – Perfilagem do poço 2-IST-01-PE, perfurado na sub-bacia de Olinda pela Petrobras, e a interpretação das unidades litoestratigráficas atravessadas (BARBOSA, 2004).

Em relação aos aspectos estruturais da Bacia Paraíba, alguns autores (BEZERRA *et al.*, 2008; ROSSETTI *et al.*, 2008; ROSSETTI *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2016) apresentam evidências de tectonismo atuante do Neógeno ao Quaternário. Essa tectônica teria reativado zonas de cisalhamento pré-cambrianas e falhas cretáceas preexistentes, e criado novas falhas (ROSSETTI *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2016). Costa *et al.* (2007) advogam que a Falha de Itabaiana teria afetado todo o pacote sedimentar, incluindo a Formação Barreiras, mas com rejeitos pequenos. No entanto, as falhas de Cabedelo e Mata Redonda teriam contribuído para a preservação da Formação Barreiras nos blocos rebaixados de João Pessoa-Pitimbu e Alhandra-Pedra de Fogo.

Embora a presença de falhas normais na Bacia Paraíba seja destacada por vários autores (p. ex. BRITO NEVES *et al.*, 2004; Figura 2.9), sua constatação em campo nem sempre é ratificada. Souza (2006) e Lima *et al.* (2016) argumentam que a presença dessas falhas pode ser constatada por métodos geofísicos, furos de sondagens e análise de dados topográficos. Segundo Souza (2006), as falhas distensivas de direção NW-SE, que delimitariam as estruturas em horsts e grabens da Bacia Paraíba, não são observadas.

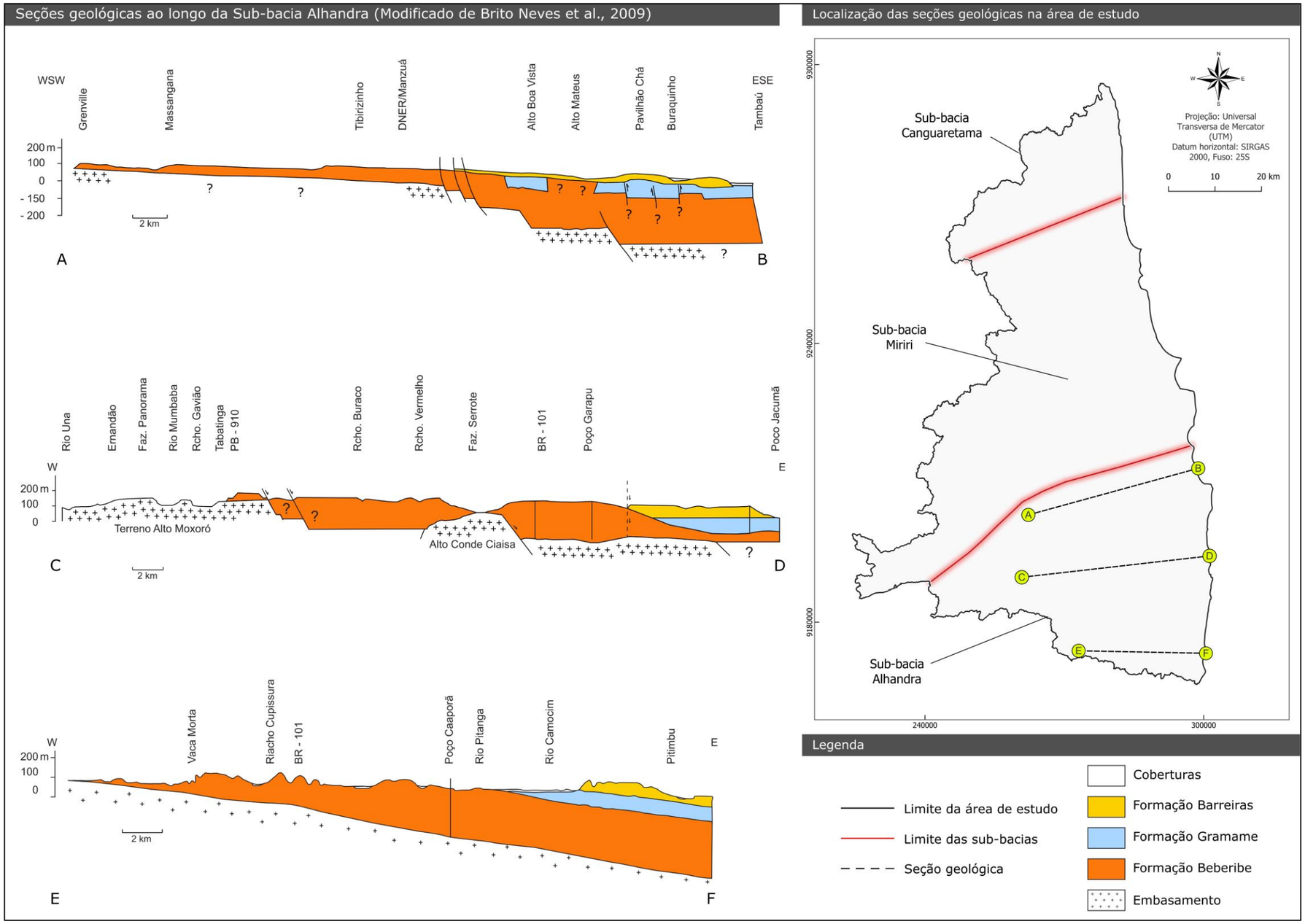


Figura 2.9 – Seções geológicas elaboradas por Brito Neves *et al.* (2009) ao longo da Sub-bacia Alhandra.

2.2.2 *GEOMORFOLOGIA*

A abordagem do tema Geomorfologia baseou-se de forma preponderante na interpretação das paisagens das áreas percorridas em roteiro de campo por mais de 1.200 km rodados pela área que delimita o SAPP. Esta descrição e análise foi previamente organizada com a produção de mapas base para a navegação georreferenciada no campo.

A base topográfica selecionada para a elaboração de mapas e seções hipsométricas foi obtida a partir do modelo digital de elevação (MDE), disponibilizada pelo projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os dados são provenientes do levantamento por radar (interferometria SAR) realizado no ano de 2000, com resolução de 30 m, sendo as instituições responsáveis pelos dados: *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

Para preparar as análises, os mapas digitais georreferenciados (com base em imagens de radar SRTM) foram úteis para gerar modelos digitais de terreno e auxiliar nas interpretações de feições de relevo, padrões de drenagens, contatos entre unidades da paisagem e entre outros interesses analíticos. Além disso, perfis topográficos de segmentos de relevo selecionados e perfis longitudinais de cursos d'água foram utilizados nas análises. Complementarmente, o mapa de declividade foi elaborado a partir dos dados hipsométricos, utilizando a classificação da EMBRAPA, dividida em seis classes.

Destaca-se que documentos diversos produzidos pela AESA para o estado da Paraíba foram úteis como fontes de consultas de dados secundários, tais como os Planos Diretores de Bacias Hidrográficas e o Plano Estadual de Recursos Hídricos e suas atualizações. Além dessas, outras fontes de consulta foram utilizadas, como publicações digitais do IBGE e SGB/CPRM, trabalhos científicos, artigos e teses.

A fisiografia do Estado da Paraíba evidencia, em vários e diferenciados aspectos, a ação de agentes morfoclimáticos estruturais na construção das formas de relevo atuais. As formas de relevo dominantes na zona costeira do estado da Paraíba são os tabuleiros costeiros convexos da bacia sedimentar Atlântica, concentrados na região oriental, juntamente às planícies fluviais, marinhas e flúvio-marinhas, menos representativas (AESA, 2006).

Os Tabuleiros, para oeste, confrontam-se a partir do contato da zona da Mata Paraibana com o Agreste, com os Patamares, ao sul, e a Depressão ao norte, regionalmente designada como Depressão Sertaneja, e o Planalto da Borborema no limite ocidental (Figura 2.10).



Figura 2.10 – Tabuleiros costeiros próximos à faixa litorânea.

A paisagem costeira atual é constituída por camadas sedimentares continentais, fluviais, flúvio-marinhas e marinhas, assentadas sobre rochas do embasamento cristalino, sobre as quais se desenvolvem as formações superficiais, coberturas pedológicas e todas as demais camadas que produzem os arranjos estruturantes dessa paisagem.

2.2.2.1 Análise Hipsométrica

Relativamente aos gradientes topográficos, a área de estudo está situada entre o nível do mar na extremidade da linha litorânea do Estado da Paraíba e, para além do limite ocidental da área de estudo, a sinuosa linha base das escarpas orientais do Planalto da Borborema (Figura 2.11). O maciço elevado a mais de 600/700 m de altitude, com elevações interiores que se aproximam dos 1.000 m, exerce imponente barreira orográfica às correntes atmosféricas úmidas do litoral para o interior do estado. A influência dessa barreira no regime climático da SAPP será apresentada com maiores detalhes no item 2.2.5.2 referente à caracterização pluviométrica. Essa influência da geomorfologia no regime climático afeta diretamente os processos de recarga aquífera do SAPP, uma vez que as frentes de recarga subterrânea apresentam relação direta com os totais precipitados e consequente saturação do solo. Maiores detalhes sobre a hidrogeologia do SAPP será apresentado no item 2.2.7 deste documento.



Figura 2.11 – Limites da área de estudo. Depressão Sertaneja no primeiro plano e Planalto da Borborema ao fundo.

A Figura 2.12 exibe uma seção topográfica que representa as variações de altitude entre as superfícies dos tabuleiros costeiros, situadas entre 50 m e 100 m, onde está abrigado o domínio da bacia sedimentar da área de estudo e as porções mais ocidentais do relevo que exibem o anteparo orográfico do planalto da Borborema e a depressão sertaneja.

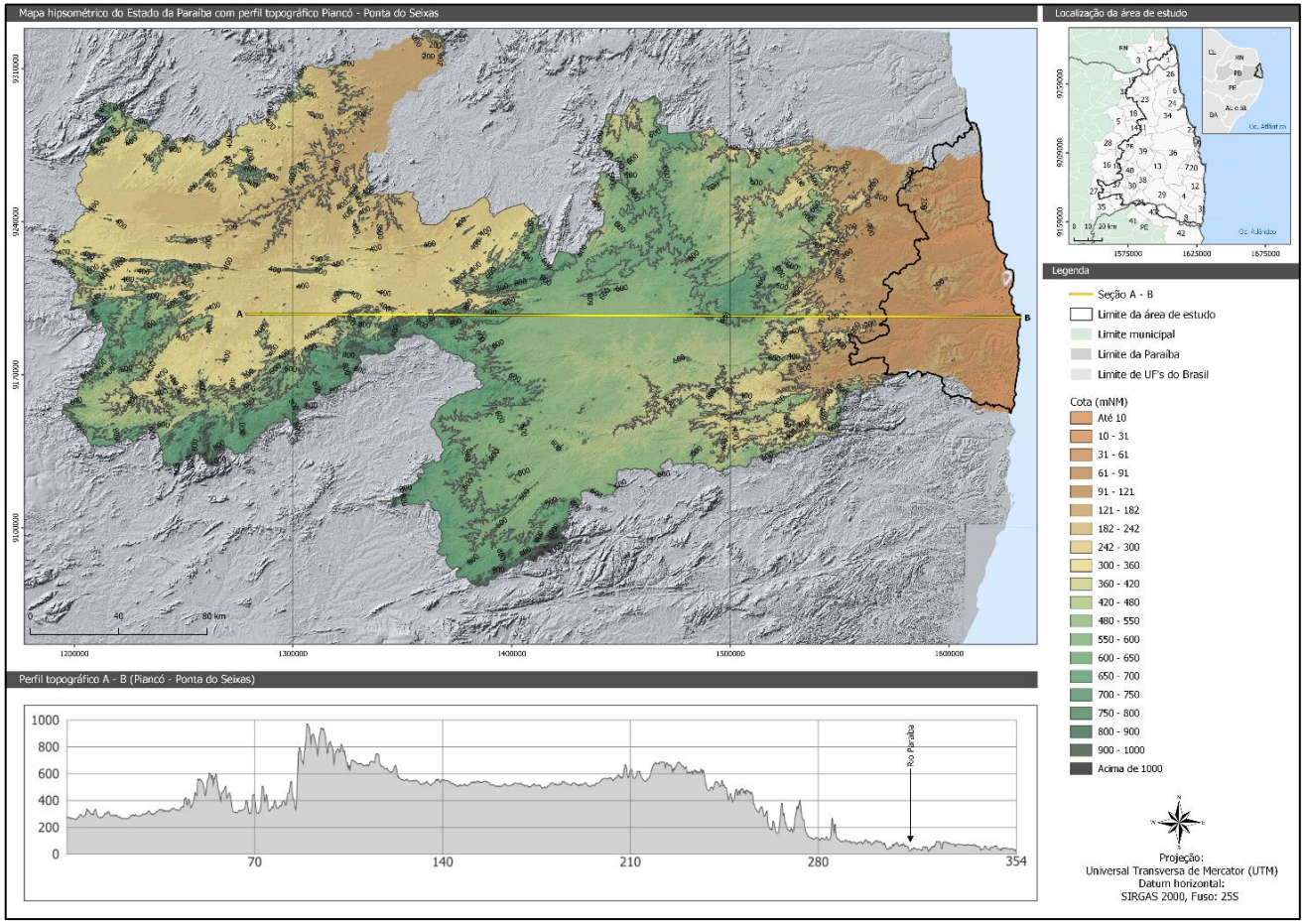


Figura 2.12 – Seção topográfica Piancó – Ponta do Seixas, exibindo o anteparo orográfico da borda oriental do planalto da Borborema em relação aos níveis da superfície da depressão sertaneja e dos tabuleiros costeiros até o oceano Atlântico.

A Figura 2.13 apresenta o mapa hipsométrico da área de estudo que envolve a mesorregião da Mata Paraibana. O mapa hipsométrico foi elaborado a partir das altitudes registradas no modelo digital de elevação SRTM.

As principais faixas altimétricas estão situadas entre os 30 m de altitude, nas superfícies dos tabuleiros da faixa litorânea, e 250 m de altitude ao longo dos interflúvios tabulares entre as principais bacias hidrográficas da região.

Destacam-se, pela extensão das áreas que ocupam, os terrenos situados abaixo de 50 m de altitude que penetram pelo interior da zona costeira e correspondem aos fundos de vales abertos e de fundo chato, às planícies fluviais de inundação, planícies aluvionares e baixos terraços, planícies fluviomarinhas e dunas, zonas estuarinas, barras, falésias e praias, em estreita faixa litorânea.

Estas áreas rebaixadas dos fundos de vales chegam a atravessar toda a extensão WNW-ENE ao longo dos principais canais fluviais, como os dos rios Paraíba, Mamanguape e Camaratuba, interrompendo a continuidade das superfícies dos tabuleiros e estabelecendo corredores de drenagem em meio à bacia sedimentar. Esses corredores atuam como zonas de descarga de água subterrânea dos aquíferos livres.

O gradiente hidráulico nos fundos desses vales é muito baixo e o escoamento superficial é muito lento, favorecendo o acúmulo de sedimentos principalmente nos segmentos de baixo curso dos canais fluviais. Nesses locais, prevalece a dinâmica de agradação aluvial que pode resultar no assoreamento dos rios.

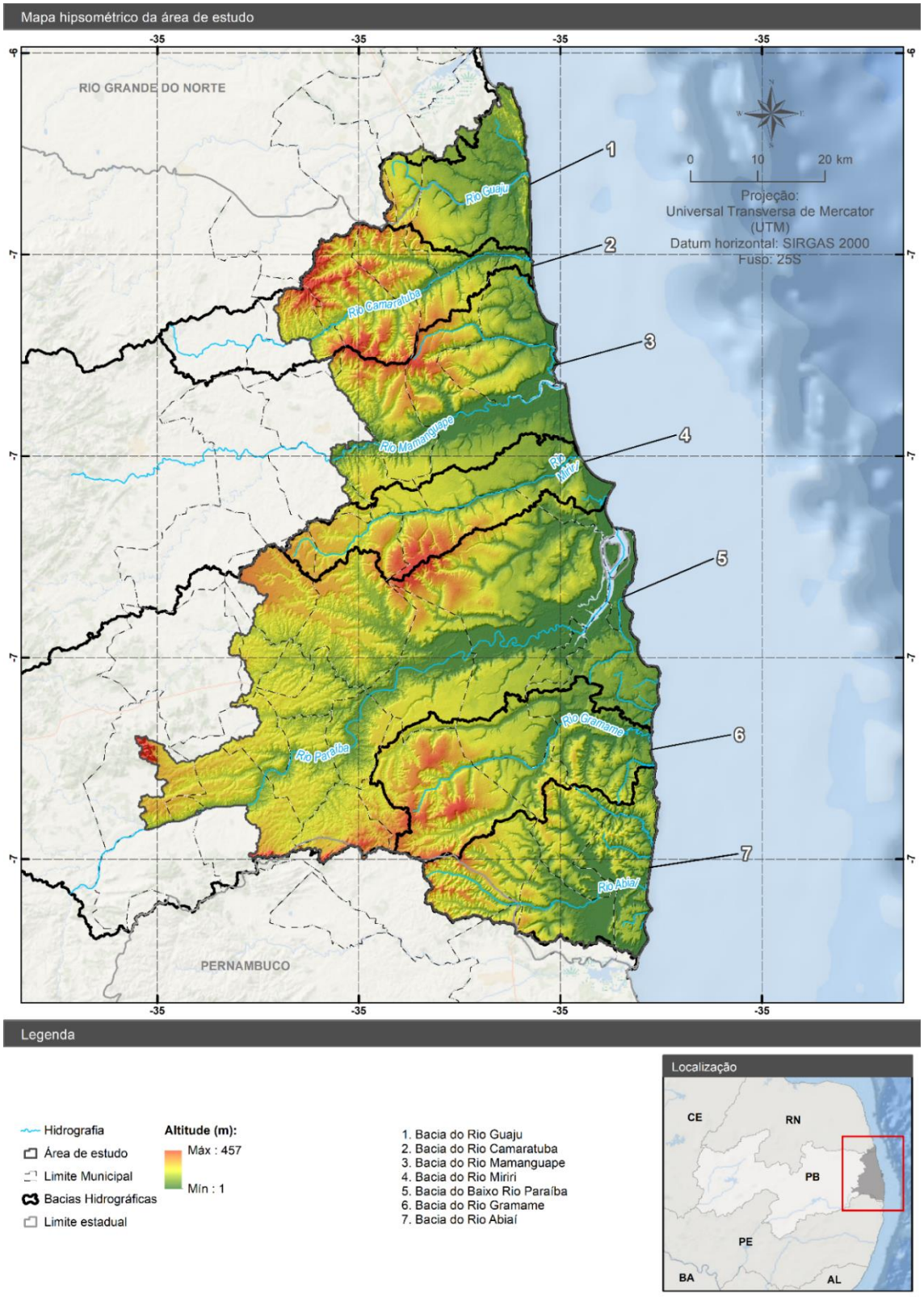


Figura 2.13 – Mapa Hipsométrico da área de estudo do SAPP.

A configuração da superfície de contorno das cumeadas define bacias e sub-bacias. Essa configuração nem sempre reflete os distintos níveis de continuidade das massas aquíferas que se prolongam no meio subjacente, por uma, duas, ou por diversas sub-bacias hidrográficas.

A Figura 2.14 mostra três seções topográficas que atravessam a área ao longo de direções N-S, em alinhamentos paralelos à linha de costa. Exibe os modelados de vales e interflúvios entre as bacias hidrográficas da área de estudo em pelo menos duas diferentes seções de seus perfis longitudinais. Dessa forma, são indicadas esquematicamente as possibilidades de transferência das águas infiltradas nos topos dos tabuleiros sedimentares, e que podem ser transferidos para talvegues vizinhos ou mesmo percolarem em maiores distâncias, alimentando as calhas das drenagens de bacias hidrográficas contíguas.

A seção A-B representa uma área mais a montante da bacia hidrográfica no segmento de alto curso do rio Paraíba, incluindo o canal principal e outros dois afluentes de margens opostas. Enquanto o talvegue principal ocorre em altitude pouco acima dos 30 m na posição mais afastada da foz, seus afluentes de incisão neógena têm seus talvegues situados acima das altitudes 60 m e 70 m.

A seção C-D, em posição mediana em relação à maior parte dos cursos d'água, já indica a maior elevação dos topos dos interflúvios tabulares, acima de 200 m de altitude. Mantendo regularidade altimétrica dessa antiga superfície entre as cotas dos divisores principais de bacias hidrográficas.

Outro aspecto evidenciado na seção C-D é a profundidade de incisão do talvegue do rio Mamanguape em relação aos demais. Indicando a adaptação do vale ao lineamento estrutural, assim como ocorre nos rios Paraíba e Camaratuba. Com relação as demais bacias hidrográficas, estas se encontram em níveis topográficos mais elevados, sugerindo cursos fluviais mais recentes cujas incisões erosivas evoluem sobre as superfícies neógenas.

A seção E-F intercepta os vales nos segmentos mais a jusante, já na zona estuarina sob influência marinha do regime de marés. Ocorrem vales alargados em amplas planícies fluviomarinhas, sobretudo a dos rios Paraíba e Mamanguape, além do

aprofundamento estrutural de vales como os dos rios Camaratuba, Gramame e Abiaí. Estes sugerem a superimposição destes canais fluviais sobre os estratos das coberturas sedimentares sobrepostas, assim como é o caso dos rios Paraíba e Mamanguape.

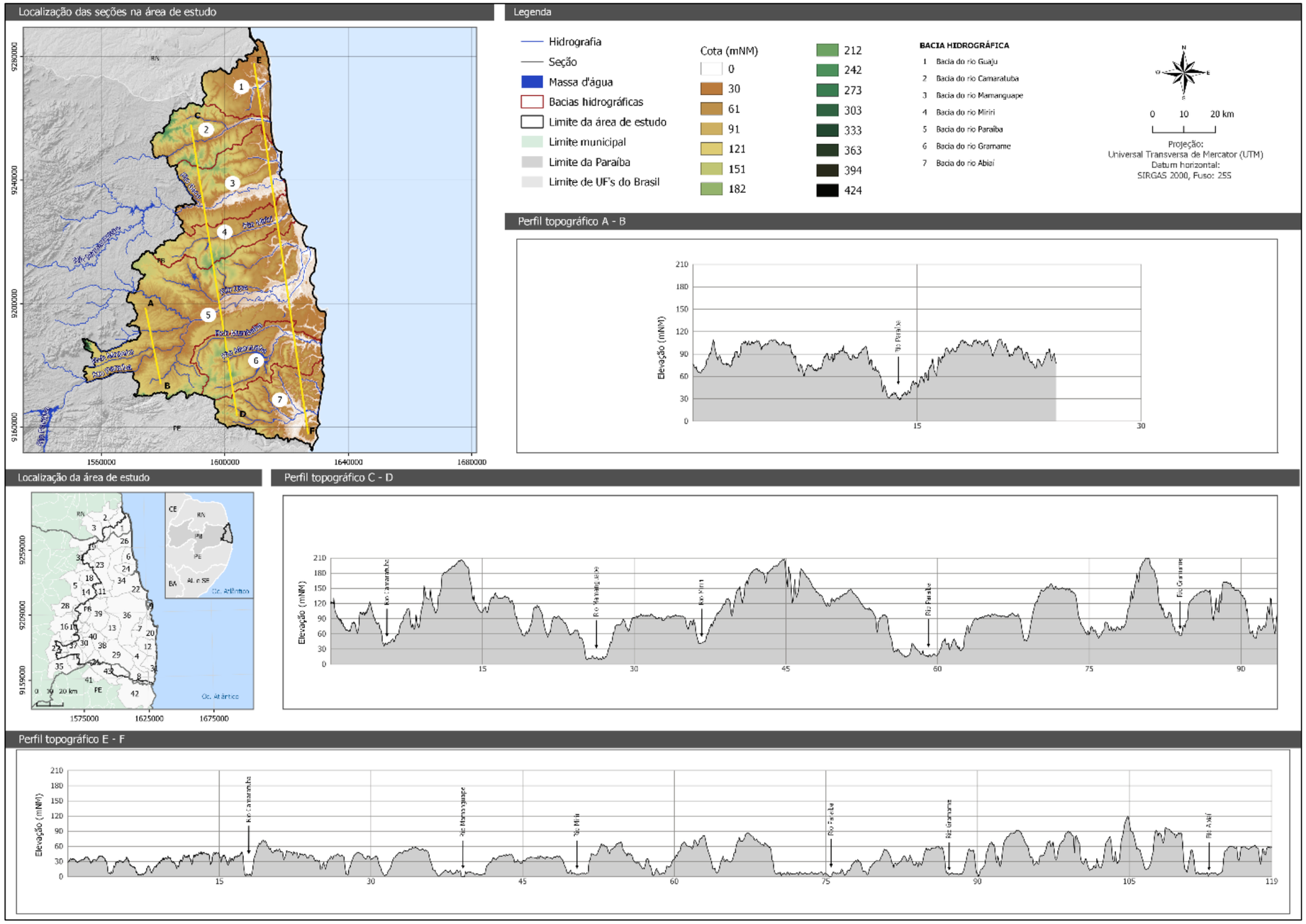


Figura 2.14 – Seções topográficas atravessando os principais vales de drenagem no SAPP.

2.2.2.2 Declividades

Os relevos costeiros da zona da Mata Paraibana são constituídos por sedimentos predominantemente continentais em extensa faixa da bacia costeira, que se estende pela costa leste desde Pernambuco até Rio Grande do Norte. Esses depósitos estão modelados em extensas superfícies aplainadas, tabulares, resultantes de processos erosivos remontantes provocados por agentes hídricos e eólicos (Figura 2.15). As precipitações atmosféricas produzem fluxos superficiais e iniciam os processos de dissecação que formam linhas pendentes e entalhamentos, elaborando encostas em processos morfodinâmicos de climas úmidos.



Figura 2.15 – Acúmulos d'água dando início à circulação hídrica, acompanhando a fisiografia.

Na área de estudo são notáveis as declividades de encostas dos vales dos rios principais, com desníveis consideráveis em curtas distâncias horizontais, como nos vales do Camaratuba e do Mamanguape. Essas características são evidentes nos

segmentos intermediários dos canais fluviais, onde ocorre alargamento dos vales e maior afluência de cursos d'água secundários.

Deve-se ressaltar que, além das formas das superfícies aplainadas nas cimeiras dos tabuleiros costeiros da área de estudo, os processos de dissecação também promovem a abertura dos vales pelo recuo lateral das encostas e bordas de tabuleiros, promovendo o entulhamento dos vales por sedimentos mobilizados das encostas.

A Figura 2.16 apresenta o mapa de declividades da área de estudo. O mapa de declividades foi elaborado a partir dos dados altimétricos extraídos do MDE e o relevo foi classificado com base em EMPRABA (1979), conforme mostrado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Classificação do relevo em função das classes de declividade do terreno (EMBRAPA, 1979).

Classes de declividade	
Declividades (%)	**Relevo**
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave-ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte-ondulado
45 -75	Montanhoso
>75	Forte-montanhoso

As áreas de declividades mais acentuadas estão associadas às áreas de cabeceiras de drenagens secundárias mais recentes, com elevadas densidades de dissecação, assim como as bordas escarpadas de tabuleiros que constituem as formas erosivas mais recorrentes da paisagem. A dissecação promove o recuo lateral destas superfícies aplainadas e o progressivo desmantelamento das formas tabulares, tendendo ao estabelecimento de modelados de dissecação em formas colinosas, em substituição à formas tabulares de amplos interflúvios planos.

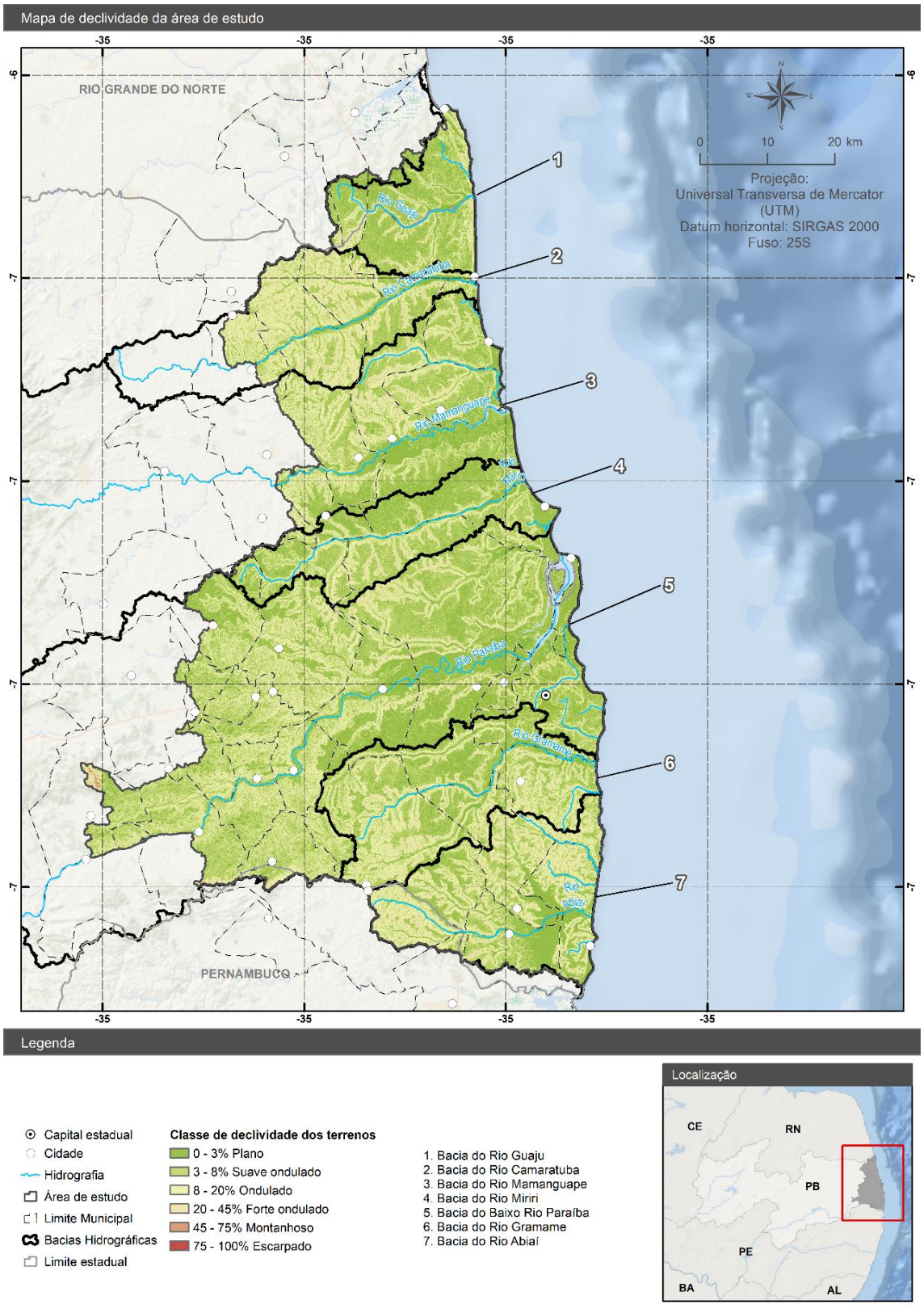


Figura 2.16 – Mapa de declividades.

2.2.2.3 Unidades Geomorfológicas

No âmbito da área de estudo da bacia sedimentar que abriga o SAPP e insere a região da Mata Paraibana, a unidade geomorfológica que representa este território costeiro em sua quase totalidade, dada a relativa uniformidade de seu modelado em toda a extensão da fachada litorânea do estado, é designada como Tabuleiros Costeiros. No limite com o Oceano Atlântico, por sua vez, essa unidade é bordejada pela Planície Costeira e pelos Campos de Dunas.

2.2.2.3.1 Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros Costeiros são constituídos de superfícies de topos tabulares, planos, formando extensos interflúvios originalmente ocupados pela Floresta Ombrófila Densa, ao norte da área com transições para a Savana. As drenagens dos principais rios que seccionam os tabuleiros formam canais paralelos concordantes com litoestruturas do embasamento cristalino sotoposto, geralmente de direção WSW-ENE.

A dissecação dos tabuleiros pela incisão das redes de drenagem criou uma recorrente sucessão de formas entre os interflúvios e os cursos d'água principais que drenam a região costeira, estabelecendo a sequência tabuleiro-vale-tabuleiro-vale. As transições do interflúvio tabular até o fundo dos vales são realizadas em rampas coluvionares nas bordas dos tabuleiros, descendo as encostas, às vezes em declives acentuados, para conectar as planícies fluviais abertas, planas e de fundo chato.

As superfícies tabulares preservadas da ação dos processos de dissecação fluvial alcançam a costa e vão ter contato direto com as praias em falésias vivas, expondo sedimentos cenozoicos do Grupo Barreiras, elevadas a mais de 10 m ou 12 m de altura. Estas se estendem pela linha de litoral até serem interrompidas pelas barras alargadas nas planícies fluviomarinhas que cortam os Tabuleiros Costeiros e desembocam no oceano Atlântico.

Interdigitadas e encaixadas entre as bordas erosivas dos tabuleiros elevados que acompanham os vales, as planícies fluviais se abrem, muitas vezes, em largas superfícies rebaixadas, diretamente conectadas ao sopé das encostas dos tabuleiros, sem a interposição de terraços marginais. As planícies de inundação dos sistemas fluviais armazenam grande quantidade de água subterrânea proveniente dos aquíferos

livres e do acúmulo de águas superficiais que extravasam durante as cheias. Ao longo do tempo, os processos de dissecação e desmantelamento das superfícies tabulares reduzem a amplitude dos interflúvios e alargam os vales.

Nas planícies fluviomarinhas, há intensa colmatação por sedimentos de frações arenosas e argilosas acumuladas pelo leito e margens onde as partículas mais finas formam substrato para a colonização de extensas e densas formações de manguezais. Além disso, há ecossistemas presentes mesmo ao longo de planícies fluviomarinhas menores ou mais esguias como as dos rios Guaju e Camaratuba, ao norte, por exemplo.

2.2.2.3.2 Tabuleiros Costeiros Dissecados

As áreas de instabilidade geodinâmica na unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros ocorrem ao longo das linhas litorâneas de abrasão marinha. Incidem sobre as falésias vivas e expõem os sedimentos do Grupo Barreiras a processos erosivos de recuo das escarpas.

Contudo, outras formas de instabilidade geodinâmica de maior expressão regional, atuam também sobre os tabuleiros. São os processos de dissecação das superfícies tabulares que atuam nas bordas dos tabuleiros, promovendo a erosão remontante tanto das cabeceiras de ravinas quanto dos ravinamentos secundários. Quando a densidade destes processos se torna mais elevada, pode levar a situações bastante comprometedoras de uso da terra, tornando as soluções de correção onerosas ou inviáveis, mesmo com o uso de máquinas e implementos pesados.

O mapa de declividade da Figura 2.16 indica que nas delgadas faixas de declividades elevadas há ocorrência destas áreas potenciais de instabilidade geodinâmica, já representando zonas propensas à produção de sedimentos. Estas áreas de instalação de novas formas de dissecação das superfícies tabulares são encontradas notadamente na região mais ao sul da área de estudo, nas bacias dos rios Gramame e Abiaí e nas bordas dos interflúvios entre as bacias hidrográficas dos rios Paraíba e Miriri. No entanto, na região das bacias hidrográficas dos rios Gramame e Abiaí as formas de dissecação dos Tabuleiros Costeiros são mais pronunciadas.

2.2.2.3.3 Planícies Costeiras e Campos de Dunas

Essa unidade abrange toda a faixa limítrofe da zona costeira do estado da Paraíba com o oceano. Predominantemente formada por sedimentos eólicos e representada por areias quartzosas finas a médias, bem arredondadas e selecionadas. Apresenta alta permeabilidade, tendo nas dunas, importantes áreas de recarga para as unidades geológicas subjacentes.

O caráter inconsolidado observado nos sedimentos dessa unidade leva os terrenos a uma condição de alta erodibilidade, confrontada, porém, com as condições de baixo gradiente topográfico, em que poucos taludes ocorrem para serem submetidos a instabilidades.

2.2.2.4 Pedologia

A matriz original disposta à ação dos agentes pedogenéticos para a formação da cobertura pedológica da região da bacia sedimentar costeira do estado da Paraíba é oriunda do retrabalhamento de materiais diversos de antigas superfícies e produtos de desagregação mineral de rochas resultado do intemperismo químico e mecânico atuante ao longo de vasto intervalo de tempo sobre as superfícies do interior do continente. Além disso, destaca-se o transporte e a deposição por processos diversos de arrastes gravitacionais e movimentos de massas das encostas, transporte fluvial, fluviomarinho e eólico, resultando tanto em diversidade de constituição mineralógica, quanto das seleções granulométricos por ambientes de sedimentação.

Dessa forma, a ação pedogenética sob as condições de relevo plano dos tabuleiros costeiros, clima quente e subúmido a úmido, sob cobertura florestal e boas condições de infiltração de água no solo, pode desenvolver pedoambientes de expressiva diversidade quanto às tipologias das classes de solos, mas com largo predomínio dos Argissolos Vermelho-Amarelos, e associações com Neossolos Quartzarênicos e Litólicos, além de outras classes, cujas ocorrências têm menor expressão espacial.

Decorrente do especial interesse sobre as dinâmicas hídricas nos solos e suas influências sobre as capacidades de recarga ou de exposição a vulnerabilidades do SAPP, objeto focal deste estudo, o tratamento do tema Solo, no contexto desta análise

diagnóstica, está concentrado nas capacidades e comportamentos hidrodinâmicos das águas nos diferentes pedoambientes.

Dessa forma, são descritas a seguir as principais características hidrológicas/hidrogeológicas dos grupos de solos ocorrentes na área de estudo, aproveitando abordagens metodológicas que buscam interpretar propriedades funcionais dos tipos de solos em relação aos aspectos hidrodinâmicos envolvidos nos processos de recarga de aquíferos.

De acordo com a metodologia apresentada pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba com o Diagnóstico Atual dos Recursos Hídricos, realizado pelo Governo do Estado da Paraíba, através da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA (2022), a “classificação hidrológica das unidades de solo constituiu um parâmetro importante, porque interpreta o comportamento da água precipitada sobre o solo (retenção da água, penetração vertical, translocação lateral interna, escoamento superficial e erodibilidade). Esse comportamento é resultado da influência de fatores como relevo (tipo, forma, extensão e declividade) e vegetação tipo de cobertura vegetal (floresta, mata, cerrado, caatinga, arbustiva, rasteira), densidade, hipo ou hiperxerofilismo etc.”

A classificação hidrológica das unidades e associações de solo com a identificação, caracterização e quantificação dos grupos hidrológicos pelos métodos do USDA – Soil Conservation Service, conforme transcrita a seguir tem, portanto, base neste documento: Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: RF-02 A - Diagnósticos/Governo do Estado da Paraíba. – João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2022.

2.2.2.5 Classificação Hidrológica das Classes de Solos

A classificação hidrológica dos solos da área de estudo no domínio do SAPP foi realizada com o auxílio do Mapa Hidrológico de Solos do Estado da Paraíba, que categoriza em quatro grupos hidrológicos os tipos de solos da área de estudo. O Quadro 2.4 e a Figura 2.17, apresentam os atributos que distinguem estes quatro grupos hidrológicos de solos.

Quadro 2.4 – Grupos Hidrológicos dos Solos.

Grupos Hidrológicos dos solos	Descrição
Grupo A	Mais baixo potencial de deflúvio superficial – solos com alto coeficiente de infiltração, mesmo quando saturados e constituídos basicamente por perfis profundos, bem a excessivamente drenados, de textura arenosa ou cascalho. Apresentam alto coeficiente de condutividade hidráulica.
Grupo B	Solos com coeficiente de infiltração moderado quando saturados e constituídos normalmente por perfis moderadamente profundos e profundos, moderadamente a bem drenados e de textura média. Mostram coeficiente de condutividade moderada.
Grupo C	Solos com baixo coeficiente de infiltração quando saturados e basicamente constituídos por perfis com uma camada que impede o movimento de água em profundidade ou com textura média a argilosa. Possuem baixa taxa de condutividade hidráulica.
Grupo D	Mais alto potencial de deflúvio superficial, solos com coeficiente de infiltração muito baixo quando saturados e constituídos principalmente por perfis argilosos com elevados teores de argila expansiva (2:1) ou rasos sobre material quase impermeável, com camada de impedimento de drenagem e textura argilosa ou claypan na superfície ou a pequena profundidade, ou ainda com lençol freático permanentemente elevado.

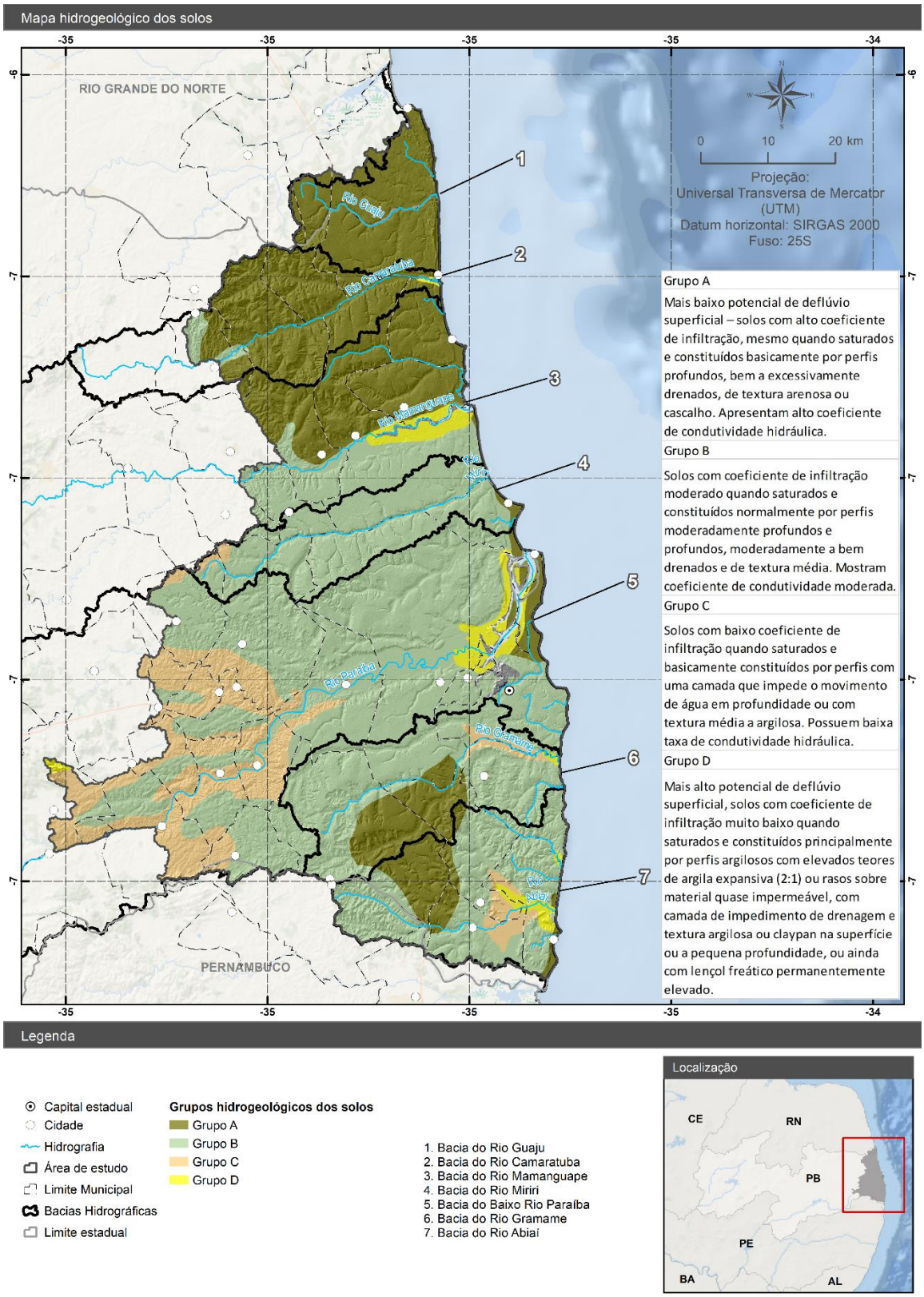


Figura 2.17 – Mapa hidrogeológico dos solos.

Segundo as ocorrências e dimensões dos tipos de solos classificados de acordo com os atributos descritos no Quadro 2.4, o domínio de interesse dos estudos do SAPP apresenta áreas abrangidas por todos os quatro grupos de coberturas pedológicas, cujas dimensões de ocorrência em superfície estão apresentadas, por bacia hidrográfica, no Quadro 2.5 e em percentual das áreas de ocorrência, também por bacia hidrográfica, no Quadro 2.6, a seguir.

Observa-se no Quadro 2.5 e no Quadro 2.6 que a bacia hidrográfica do rio Guaju tem a totalidade de sua área (353 km², 100%) contida no grupo hidrológico de solos com o mais baixo potencial de escoamento superficial, com cobertura de solos de elevada capacidade de infiltração, enquanto as bacias dos rios Camaratuba e Mamanguape têm, respectivamente, 94% da área (434 km²) e 61,5% (423 km²) constituídas por coberturas de solos com estes atributos, configurando as melhores zonas de recarga dos aquíferos pelos horizontes da cobertura pedológica.

A bacia do rio Paraíba enquadra no grupo B, solos com coeficiente de infiltração moderado, quase 65% de toda a sua área (1.394 km²), enquanto a bacia do rio Miriri tem 97% dos solos (415 km²) nesta categoria. Áreas consideráveis desse grupo hidrológico de solos estão inseridas nos domínios das bacias hidrográficas dos rios Gramame (595 km² correspondente a 77% da área) e Abiaí (513 km² correspondente a 73% da área).

Complementarmente, com as menores capacidades de infiltração e maiores volumes de escoamento superficial os Grupos C e D compõem cerca de 33% das áreas da bacia hidrográfica do rio Paraíba na área de estudo. De acordo com a metodologia utilizada para avaliar os atributos dos tipos de solos predominantes na conformação dos ambientes pedológicos da área do SAPP, verifica-se que, em geral, a cobertura pedológica desenvolvida sobre os sedimentos clásticos que constituíram o substrato da pedogênese em toda a área de domínio dos Tabuleiros Costeiros guarda consistência em relação ao comportamento hídrico em meios porosos.

Quadro 2.5 – Áreas de distribuição dos grupos hidrológicos de solos, por bacia hidrográfica, da área de estudo do SAPP.

Área (km²)	Bacia do rio Abiaí	Bacia do rio Camaratuba	Bacia do rio Gramame	Bacia do rio Guaju	Bacia do rio Mamanguape	Bacia do rio Miriri	Bacia do rio Paraíba	Total Geral
Grupo A	119,427	433,635	153,936	353,332	423,064	1,086	53,418	**1.537,899**
Grupo B	513,234	26,450	594,540	-	222,827	415,041	1.394,015	**3.166,108**
Grupo C	41,636	-	24,550	-	-	11,603	646,515	**724,304**
Grupo D	24,031	2,729	3,478	-	41,774	-	62,726	**134,738**
Total Geral	**698,328**	**462,815**	**776,505**	**353,332**	**687,664**	**427,730**	**2.156,674**	**5.563,048**

Quadro 2.6 – Distribuição percentual dos grupos hidrológicos de solos, por bacia hidrográfica, da área de estudo do SAPP.

Percentual (%)	Bacia do rio Abiaí	Bacia do rio Camaratuba	Bacia do rio Gramame	Bacia do rio Guaju	Bacia do rio Mamanguape	Bacia do rio Miriri	Bacia do rio Paraíba	Total Geral
Grupo A	17,10%	93,70%	19,82%	100,00%	61,52%	0,25%	2,48%	**27,64%**
Grupo B	73,49%	5,72%	76,57%	0,00%	32,40%	97,03%	64,64%	**56,91%**
Grupo C	5,96%	0,00%	3,16%	0,00%	0,00%	2,71%	29,98%	**13,02%**
Grupo D	3,44%	0,59%	0,45%	0,00%	6,07%	0,00%	2,91%	**2,42%**
Total Geral	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**

2.2.3 *VEGETAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO*

Este item foi baseado nos seguintes levantamentos e processamentos de dados sistematizados abaixo:

- **Uso e ocupação do solo:** Mapeamento de uso do solo de 2022, desenvolvido pelas empresas *Impact Observatory*, *Esri* e *Microsoft*, a partir de imagens do satélite Sentinel-2 com resolução de 10 m. O mapeamento original continha nove classes e foi convertido para *shapefile* após interpretação visual e refinamento (*Google Earth* e imagens de satélite *Planet Scope* de junho de 2023 com resolução média de 4,5 m). Complementarmente, a correção de erros incluiu a eliminação de polígonos classificados como "nuvens" e a resolução de conflitos entre classes. Além disso, foram consideradas sete classes de uso e ocupação do solo e todas as informações foram projetadas para o sistema de coordenadas SIRGAS2000 UTM 25S, partindo do sistema WGS84 (EPSG:3857).
- **Conservação da Vegetação:** As UCs são referentes aos dados do MMA (BRASIL, 2019). Já as Terras Indígenas são referências da FUNAI (2019) e os Quilombos, conforme o INCRA (2019).
- **Áreas de Preservação Permanente (APPs)**:
  - APPs em entorno de cursos d'água e nascentes: As APPs em entorno de cursos d'água e nascentes foram estabelecidas de acordo com a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, com base na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) utilizada pela ANA (2017a) e nas massas d'água da ANA (2019a);
  - APPs em encostas: As APPs em encostas foram determinadas de acordo com a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, usando um Modelo Numérico de Terreno (MNT) de 30 m, obtido da missão SRTM da NASA;
  - APPs relacionadas a áreas de manguezais: As APPs relacionadas a áreas de manguezais foram estabelecidas de acordo com a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, com base em dados do MapBiomas (2021);
  - APPs de restinga herbácea como fixadora de dunas ou estabilizadora de manguezais: determinadas de acordo com a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 com base em dados do MapBiomas (2021).

- **Potenciais fontes de contaminação**: mapeada conforme o mapa de uso e ocupação do solo, fontes secundárias como banco de dados da AESA, CNARH, SIAGAS e SIGMINE, e consultas ao *Google Earth*.

2.2.3.1 Uso e ocupação do solo e estudos de imagens de satélite

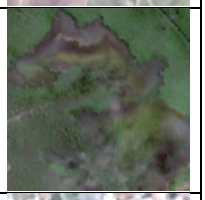
Neste estudo foi utilizado como base o mapeamento de uso do solo para o ano de 2022, elaborado pelas empresas *Impact Observatory*, *Esri* e *Microsoft*, com base em imagens do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 m. Este mapeamento apresentou originalmente nove classes: água, vegetação florestal, áreas úmidas, agricultura e pastagem, área edificada, solo exposto, dunas e areais, vegetação campestre, gelo ou neve e nuvens. O mapeamento foi obtido em formato *raster* através da plataforma *ArcGis Living Atlas*.

O arquivo original de uso e ocupação do solo (*Esri*, 2022) foi convertido para o formato *shapefile*, o qual passou por um processo de interpretação visual e refinamento, com auxílio do software *Google Earth*, e especialmente a partir de um mosaico de 27 imagens ortorretificadas dos satélites *Planet Scope* do mês de junho de 2023, em composição RGB, obtidas através da plataforma *Planet Explorer*. A resolução espacial dos satélites *Planet Scope* é de 3 m a 5 m, e as imagens obtidas para a área de estudo tem resolução média de 4,5 m. O Erro Médio Quadrático (RMSE) das imagens é inferior a 10 m em 90% do conjunto de dados (*Planet Labs*, 2022).

No processo de interpretação e refinamento foram eliminados totalmente os polígonos classificados como “nuvens” por falta de informação, além de corrigir erros do algoritmo de classificação, como mistura entre as classes de vegetação campestre e agricultura, ou vegetação florestal nativa e silvicultura. Para o processo de interpretação visual foram consideradas sete classes de uso e ocupação do solo, descritas no Quadro 2.7.

Tanto as imagens de satélite *Planet Scope*, quanto o arquivo *raster* de uso e ocupação do solo foram obtidos no Sistema de Coordenadas Geográficas WGS84 (EPSG:3857), e reprojetados para o Sistema de Coordenadas Projetadas SIRGAS2000 UTM 25S.

Quadro 2.7 – Descrição das classes de uso e ocupação do solo consideradas.

Classe	Descrição da classe	Recorte da classe
Agricultura e pastagem	Áreas de lavoura perene ou intermitentes, de silvicultura e áreas de pastagens cultivadas.	
Área úmida	Áreas de qualquer tipo de vegetação com evidência de alagamento sazonal ou perene, geralmente associadas a corpos d'água mapeados.	
Área edificada	Manchas urbanas expressivas ou construções antrópicas isoladas com área significativa.	
Corpo d'água	Massas d'água naturais continentais ou costeiras (rios, lagos, lagoas ou oceano) ou construídas (barragens, açudes ou aquicultura).	
Solo exposto, duna e areal	Áreas com pouca vegetação ou edificações onde o solo se faz visível na imagem. Abrange áreas de afloramento naturais (faixa de areia litorânea, dunas, areais e afloramentos rochosos) e afloramentos causados pela retirada da cobertura vegetal de forma permanente.	
Vegetação campestre e herbácea	Áreas não alagadas de vegetação natural não florestal, com predominância de flora arbustiva, campestre e herbácea, podendo apresentar árvores esparsas, sem evidência de alterações humanas.	
Vegetação florestal	Áreas de agrupamento de vegetação arbórea natural, geralmente com adensamento do dossel.	

Ao final do processo de refinamento, avançou-se para a etapa de verificação da integridade topológica das feições que abrangem toda a área de estudo. Esta, possibilitou atestar a consistência dos dados pela detecção e correção de *gap's* e sobreposições de objetos. Após a validação de topologia foram obtidos os quantitativos de uso e ocupação do solo apresentados no Quadro 2.8.

Quadro 2.8 – Quantitativos das classes de uso e ocupação do solo na área de estudo.

Classe	Área (km²)	%
Agricultura e pastagem	3.150,77	60,49
Área úmida	54,19	1,04
Área edificada	384,42	7,38
Corpo d'água	113,75	2,18
Solo exposto, duna e areal	14,15	0,27
Vegetação campestre e herbácea	290,70	5,58
Vegetação florestal	1.200,38	23,05
Total Geral	**5.208,36**	**100**

Ao analisar os dados em escala macro, percebe-se que usos agropecuários do solo compõem o percentual mais expressivo, e quando somadas às áreas edificadas, compõem o percentual de 67,88% da área de estudo ocupada por usos antrópicos. As áreas naturais (compostas por vegetação florestal, campestre e herbácea e áreas úmidas) correspondem a 29,67% da área total, majoritariamente caracterizadas por vegetação florestal. Os corpos d'água, tanto de origem natural como artificiais, ocorrem em 2,18% da área de estudo. As áreas de solo exposto de origem natural ou antrópica representam o percentual menos expressivo (0,27%). A Figura 2.18 apresenta a distribuição espacial das classes de uso e ocupação do solo mapeadas.

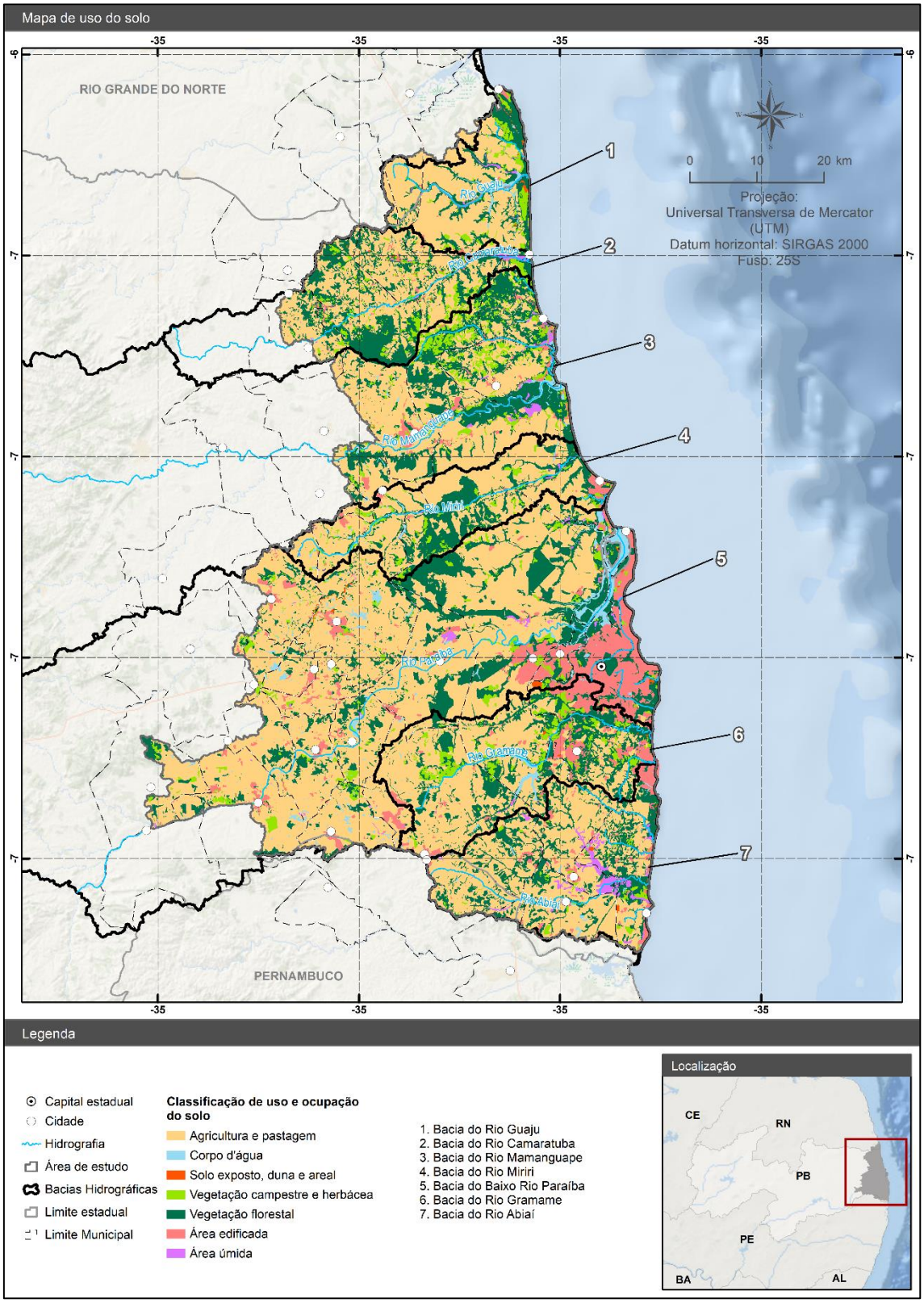


Figura 2.18 – Uso e ocupação do solo na área de estudo.

A área de estudo é formada por sete bacias hidrográficas, sendo a Bacia do Rio Paraíba a mais abrangente com cerca de 40% da área total do estudo. O Quadro 2.9 apresenta a distribuição das classes de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas que compõem a área de estudo.

As categorias de usos antrópicos ocorrem de forma expressiva em todas as bacias hidrográficas analisadas, ocupando mais de 60% da área total de cinco bacias. As bacias dos rios Paraíba, Abiaí e Guaju têm os maiores percentuais antropizados (74,9%, 68,96% e 68,46%, respectivamente). As bacias dos rios Gramame e Miriri também apresentam taxas de antropização altas (66,54% e 65,33%, respectivamente). Seguindo os parâmetros gerais da área de estudo, a análise dos dados evidencia a predominância dos usos agropecuários do solo, com ocorrência acima de 50% em todas as bacias que compõem a área de estudo (de 52% a 67%).

As áreas edificadas ocupam menos de 10% da área total de cinco bacias hidrográficas. As duas bacias com percentuais mais significativos de área edificada são as bacias dos rios Paraíba, com 11,48%, e Gramame, com 10,02%. Juntas, essas duas bacias hidrográficas concentram 77,65% das áreas edificadas nos limites da área de estudo, devido a presença das cidades mais populosas da Região Metropolitana de João Pessoa (IBGE, 2021). Destaca-se a capital estadual, com 58,84% de área edificada dentro dos limites municipais, seguida dos municípios de Cabedelo (55%), Bayeux (45,82%). João Pessoa teve aumento populacional de 15,26% entre 2010 e 2022, chegando a 833.932 habitantes segundo o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2023). O município de Santa Rita possui um dos maiores índices de crescimento no estado, no mesmo período atingiu 17,41%, tornando-se a terceira cidade mais populosa da Paraíba. Neste mesmo período, 46% dos municípios paraibanos tiveram índice de crescimento populacional negativo, incluindo a cidade de Bayeux, que encolheu em 10,41% de habitantes.

As áreas naturais ocupam em média 32,64% da área total das bacias hidrográficas analisadas, próximo do índice geral da área de estudo (29,67%). As bacias com maior área coberta por vegetação natural são as dos rios Camaratuba (43,37%) e Mamanguape (41,09%). A Bacia do Rio Paraíba possui o menor percentual de áreas conservadas (21,55%), sendo a vegetação florestal predominante nesse percentual.

As bacias com maior percentual de área conservada são também as com maior área percentual de floresta: 33,76% na Bacia do Rio Camaratuba e 30,10% na Bacia do Rio Mamanguape. A Bacia do Rio Paraíba possui o menor recobrimento de vegetação florestal (17,78% da área total da bacia). Entretanto, em termos absolutos, essa é a bacia com maior área de floresta (365,5 km² com cerca de 30% da área total de floresta na área de estudo). A Bacia do Rio Guaju tem a menor área absoluta de vegetação florestal com 68,63 km², o que corresponde a 19,52% da bacia e 5,72% da área total do estudo.

A vegetação campestre ou herbácea representa menos de 10% da área total em todas as bacias hidrográficas analisadas. Da mesma forma, as áreas úmidas têm ocorrência em menos de 2% da área total de seis das sete bacias abrangidas pelo estudo. Destaca-se a Bacia do Rio Abiaí, na qual as áreas úmidas compõem 4,32% da área da bacia, o que corresponde a 25,41 km² e 47,67% de todas as áreas úmidas mapeadas na área de estudo.

As classes que ocupam os menores percentuais na área de estudo são as áreas de solo exposto e corpos hídricos, ambas de origem natural ou antrópica. A primeira tem ocorrência concentrada na faixa de até 6 km do litoral, onde estão localizadas cerca de 50% das áreas de solo exposto, dunas e areais mapeados. Quanto aos corpos hídricos, 59,76% ocorrem dentro dos limites da Bacia do rio Paraíba, valor discrepante do restante das bacias hidrográficas, devido à presença da foz do rio Paraíba.

Quadro 2.9 – Distribuição das classes de uso e ocupação do solo por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Classe	Área (km²)	% na área da bacia	% na área de estudo	% na área total da classe na área de estudo
Bacia do Rio Abiaí	Agricultura e pastagem	372,94	63,38	7,16	11,83
	Área úmida	25,41	4,32	0,49	47,67
	Área edificada	32,84	5,58	0,63	8,54
	Corpo d'água	4,62	0,79	0,09	4,07
	Solo exposto, duna e areal	2,56	0,43	0,05	16,23
	Vegetação campestre e herbácea	12,54	2,13	0,24	4,31
	Vegetação florestal	137,48	23,37	2,64	11,46
	Total Geral	***588,39***	***100***	***11,30***	***11,30***
Bacia do Rio Camaratuba	Agricultura e pastagem	252,67	54,49	4,85	8,02
	Área úmida	5,22	1,13	0,10	9,80
	Área edificada	8,40	1,81	0,16	2,18
	Corpo d'água	0,70	0,15	0,01	0,61
	Solo exposto, duna e areal	0,85	0,18	0,02	5,38
	Vegetação campestre e herbácea	39,33	8,48	0,76	13,53
	Vegetação florestal	156,57	33,76	3,01	13,05
	Total Geral	***463,74***	***100***	***8,90***	***8,90***
Bacia do Rio Gramame	Agricultura e pastagem	344,47	55,31	6,61	10,93
	Área úmida	0,76	0,12	0,01	1,42
	Área edificada	62,40	10,02	1,20	16,23
	Corpo d'água	10,30	1,65	0,20	9,06
	Solo exposto, duna e areal	0,95	0,15	0,02	6,00
	Vegetação campestre e herbácea	50,05	8,04	0,96	17,22
	Vegetação florestal	153,91	24,71	2,96	12,83
	Total Geral	***622,83***	***100***	***11,96***	***11,96***
Bacia do Rio Guaju	Agricultura e pastagem	235,61	67,03	4,52	7,48
	Área úmida	2,88	0,82	0,06	5,40
	Área edificada	5,02	1,43	0,10	1,31
	Corpo d'água	9,47	2,70	0,18	8,34

Bacia Hidrográfica	Classe	Área (km²)	% na área da bacia	% na área de estudo	% na área total da classe na área de estudo
	Solo exposto, duna e areal	3,65	1,04	0,07	23,14
	Vegetação campestre e herbácea	26,23	7,46	0,50	9,02
	Vegetação florestal	68,63	19,52	1,32	5,72
	Total Geral	***351,48***	***100***	***6,75***	***6,75***
Bacia do Rio Mamanguape	Agricultura e pastagem	364,13	52,21	6,99	11,55
	Área úmida	9,15	1,31	0,18	17,17
	Área edificada	31,13	4,46	0,60	8,10
	Corpo d'água	14,98	2,15	0,29	13,18
	Solo exposto, duna e areal	0,57	0,08	0,01	3,58
	Vegetação campestre e herbácea	67,53	9,68	1,30	23,23
	Vegetação florestal	209,90	30,10	4,03	17,50
	Total Geral	***697,39***	***100***	***13,39***	***13,39***
Bacia do Rio Miriri	Agricultura e pastagem	278,16	64,92	5,34	8,83
	Área úmida	1,98	0,46	0,04	3,71
	Área edificada	6,93	1,62	0,13	1,80
	Corpo d'água	5,81	1,36	0,11	5,11
	Solo exposto, duna e areal	0,34	0,08	0,01	2,18
	Vegetação campestre e herbácea	26,45	6,17	0,51	9,10
	Vegetação florestal	108,79	25,39	2,09	9,07
	Total Geral	***428,45***	***100***	***8,23***	***8,23***
Bacia do Rio Paraíba	Agricultura e pastagem	1303,83	63,41	25,03	41,37
	Área úmida	8,81	0,43	0,17	16,53
	Área edificada	236,10	11,48	4,53	61,42
	Corpo d'água	67,91	3,30	1,30	59,76
	Solo exposto, duna e areal	5,24	0,25	0,10	33,23
	Vegetação campestre e herbácea	68,68	3,34	1,32	23,63
	Vegetação florestal	365,50	17,78	7,02	30,47
	Total Geral	***2.056,07***	***100***	***39,48***	***39,48***
Total Geral da área de estudo		**5.208,36**			**100**

2.2.3.2 Potenciais fontes de contaminação

Grande parte da água subterrânea origina-se a partir da infiltração direta ou indireta no solo. Portanto, atividades desenvolvidas na superfície ameaçam a qualidade da água subterrânea, como atividades urbanas, industriais, agrícolas e de mineração que são inadequadamente controladas. Certos componentes podem exceder a capacidade de atenuação natural das camadas de cobertura do solo (FOSTER *et al.*, 2002).

Foster *et al.* (2002) classificam essas atividades potencialmente poluentes de acordo com sua distribuição espacial, como fontes de contaminação difusas e pontuais. As fontes de contaminação difusas não geram plumas de contaminação claramente definidas, ao contrário das fontes de contaminação pontuais, e podem afetar um volume muito maior do aquífero. Quando as atividades poluentes de origem pontual são pequenas e múltiplas, a identificação e o controle acabam se assemelhando aos de uma fonte difusa (FOSTER *et al.*, 2002).

Para a área de estudo foram identificadas as potenciais fontes de contaminação antrópicas. Algumas dessas fontes de contaminação foram mapeadas com base no mapa de uso e ocupação do solo, incluindo áreas urbanas e áreas com atividades agrícolas. As fontes potenciais de contaminação da área de estudo são apresentadas a seguir, juntamente com a fonte de obtenção dos dados:

- **Potenciais fontes de contaminação difusas:**
    1. Áreas urbanas: utilizadas as manchas urbanas do mapeamento de uso e ocupação do solo;
    2. Áreas com atividades agrícolas: consideradas as áreas de agricultura e pecuária do mapeamento de uso e ocupação do solo.
- **Potenciais fontes de contaminação pontuais:**
    1. Indústrias: utilizados os pontos de outorgas de captação e lançamento de indústrias do CNARH, outorgas com finalidade de uso industrial da AESA e poços com finalidade de uso industrial do SIAGAS;
    2. Aterros sanitários e lixões: A localização foi determinada por meio de consultas ao *Google Earth*;
    3. Postos de Gasolina: A localização foi determinada por meio de consultas ao *Google Earth*;

4. Cemitérios: A localização foi determinada por meio de consultas ao *Google Earth*;
5. Vias de Transporte (Estradas e Rodovias): Os dados foram obtidos do *OpenStreetMap* (2018);
6. Lavras: Áreas com conceção de lavra para processos minerários (ANM, 2023).

A espacialização das fontes potenciais de contaminação da área de estudo é apresentada na Figura 2.19. Esse mapeamento serve como base para a avaliação de risco potencial de contaminação.

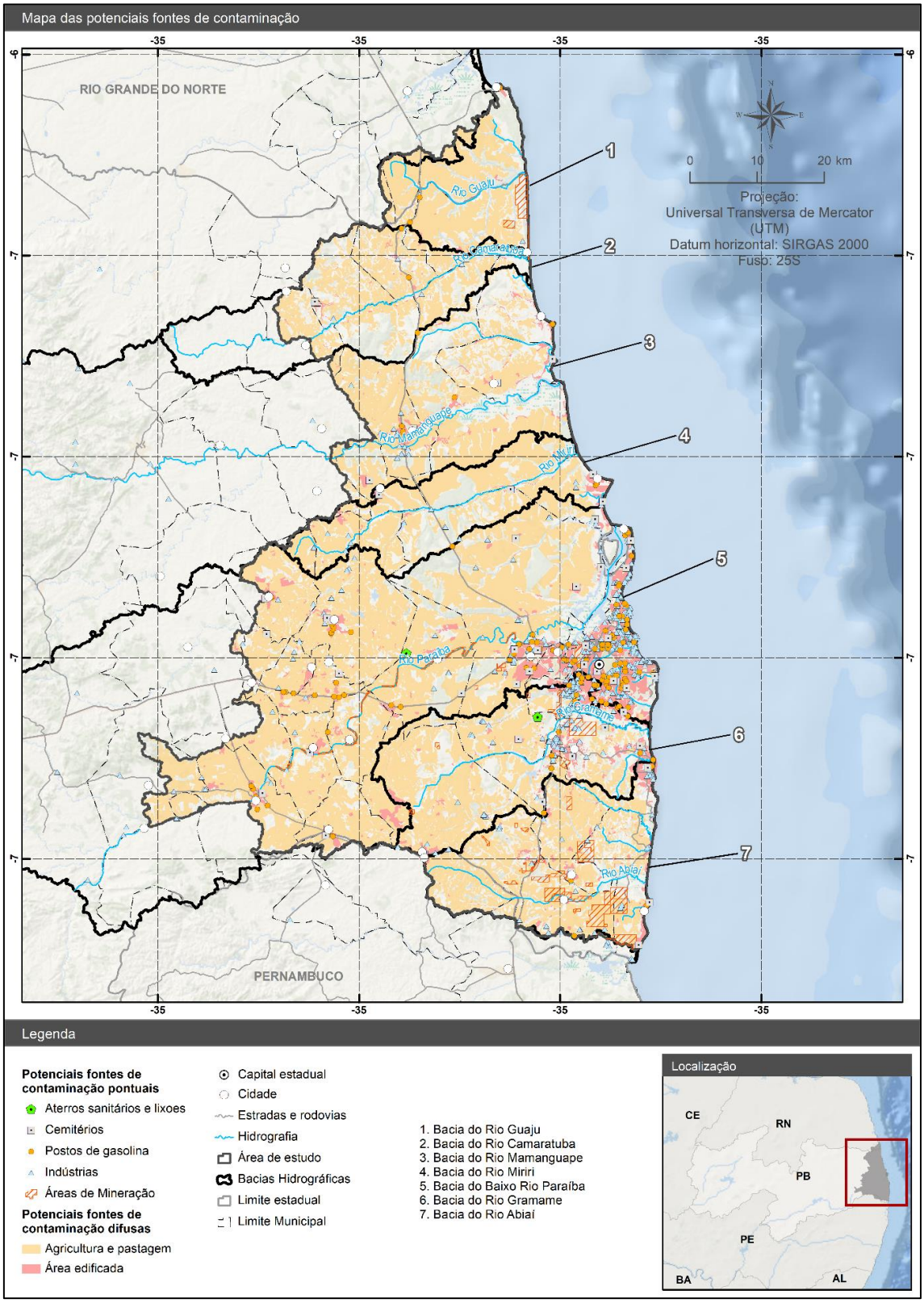


Figura 2.19 – Mapa de Fontes Potenciais de Contaminação.

2.2.3.3 Conservação da Vegetação

2.2.3.3.1 Unidades de conservação e áreas protegidas

Quase toda a área no domínio de interesse dos estudos hidrogeológicos do SAPP está inserida na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, conforme o espaço de ocorrência do bioma no estado da Paraíba, que incorpora a região da Zona da Mata Paraibana, domínio geográfico que ocupa toda a fachada leste do estado, desde as encostas da Borborema até o oceano Atlântico.Todas as demais unidades de conservação ocorrentes neste domínio da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica constituem zonas nucleares e de transição desta unidade, de acordo com suas respectivas categorias de manejo dos recursos naturais e seus objetivos de proteção.

A Figura 2.20 apresenta a distribuição espacial das unidades de conservação, constantes do banco de dados do Ministério do Meio Ambiente – MMA (BRASIL, 2019). Também apresenta informações sobre áreas protegidas sob categorias de manejo, Terras Indígenas, Quilombos e territórios que apresentam condições especiais de regulação das formas de uso e ocupação do solo, reunidas e apresentadas pelo "Projeto MapBiomas – Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil"[1]. Com relação às informações constantes sobre Terras Indígenas, estas são referências da FUNAI (2019) e os Quilombos, conforme o INCRA (2019).

A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica é uma unidade de conservação Federal, de Uso Sustentável, que contém em seu domínio. No município de Rio Tinto, por exemplo, existe a Área de Proteção Ambiental – APA Barra do Rio Mamanguape e o Território Indígena Potiguara de Monte-Mor.

Merece destaque também, entre as unidades de conservação, em nível federal, na categoria de Proteção Integral, a Reserva Biológica Guaribas, no município de Mamanguape, reunindo, em três áreas disjuntas, alguns dos mais importantes fragmentos remanescentes de Mata Atlântica do Estado da Paraíba. O terceiro

[1] Projeto MapBiomas – é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em http://mapbiomas.org

fragmento desta mesma UC é registrado no município de Rio Tinto. Todos constituem zonas nucleares da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.

Conforme consta na Figura 2.20, a Zona da Mata Paraibana, no bioma Mata Atlântica, apresenta uma única terra Quilombola – Paratibe, três territórios Indígenas e 13 unidades de conservação, sendo a principal a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, que contém em sua abrangência todas as outras. Entretanto, o Painel de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente – MMA (BRASIL, 2019) oferece uma atualização da base de dados para o Estado da Paraíba, que totaliza, para o bioma da Mata Atlântica, por grupo de categorias de manejo, a seguinte relação de unidades de conservação, federais, estaduais e municipais:

- **Grupo de Proteção Integral:**
    - Estação Ecológica do Pau Brasil (Estadual);
    - Reserva Biológica Guaribas (Federal);
    - Monumento Natural do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Federal);
    - Parque Estadual das Trilhas;
    - Parque Estadual do Poeta e Repentista Juvenal de Oliveira;
    - Parque Estadual Marinho de Areia Vermelha;
    - Parque Estadual Mata do Pau Ferro;
    - Parque Estadual Mata do Xem-Xém;
    - Parque Estadual Pico do Jabre;
    - Parque Natural Municipal do Cuiá – Parque Cuiá; e
    - Refúgio de Vida Silvestre Mata do Buraquinho.

A área total protegida pelas 11 unidades de conservação do Grupo de Proteção Integral, nas três esferas administrativas, perfaz uma superfície de 7.543 ha, ou 75,43 km².

- **Grupo de Uso Sustentável:**
    - Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (Federal);
    - Floresta Nacional da Restinga de Cabedelo;
    - Área de Proteção Ambiental – APA da Barra do Rio Mamanguape (Federal);
    - Área de Proteção Ambiental – APA de Tambaba (Estadual);
    - Área de Proteção Ambiental – APA do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Federal);

- Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE Manguezais da Foz do Rio Mamanguape (Federal);
- Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE da Barra do Rio Camaratuba (Municipal);
- Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Mata Estrela.

Considerando-se entre as 8 unidades de conservação do Grupo de Uso Sustentável, apenas as APAs e as ARIEs, a área total protegida perfaz uma superfície de 20.558 ha ou 205,58 km². O sistema de unidades de conservação do bioma Mata Atlântica no Estado da Paraíba é composto, portanto, por 10 diferentes categorias de manejo e proteção da natureza, sendo 11 delas do Grupo de Proteção Integral e 8 do Grupo de Uso Sustentável.

Contudo, há necessidade de verificação de algumas unidades de conservação que constam do banco de dados do MapBiomas (2021), mas que estão ausentes do Painel de Unidades de Conservação do MMA (BRASIL, 2019), para o Estado da Paraíba. Este é o caso, por exemplo, da Floresta Nacional da Restinga de Cabedelo e da RPPN Mata Estrela. Assim, também não foram encontradas as bases georreferenciadas de limites das áreas de constituição de algumas UCs que não constam da base de dados do MapBiomas (2021) e, portanto, estão ausentes na representação espacial na Figura 2.20.

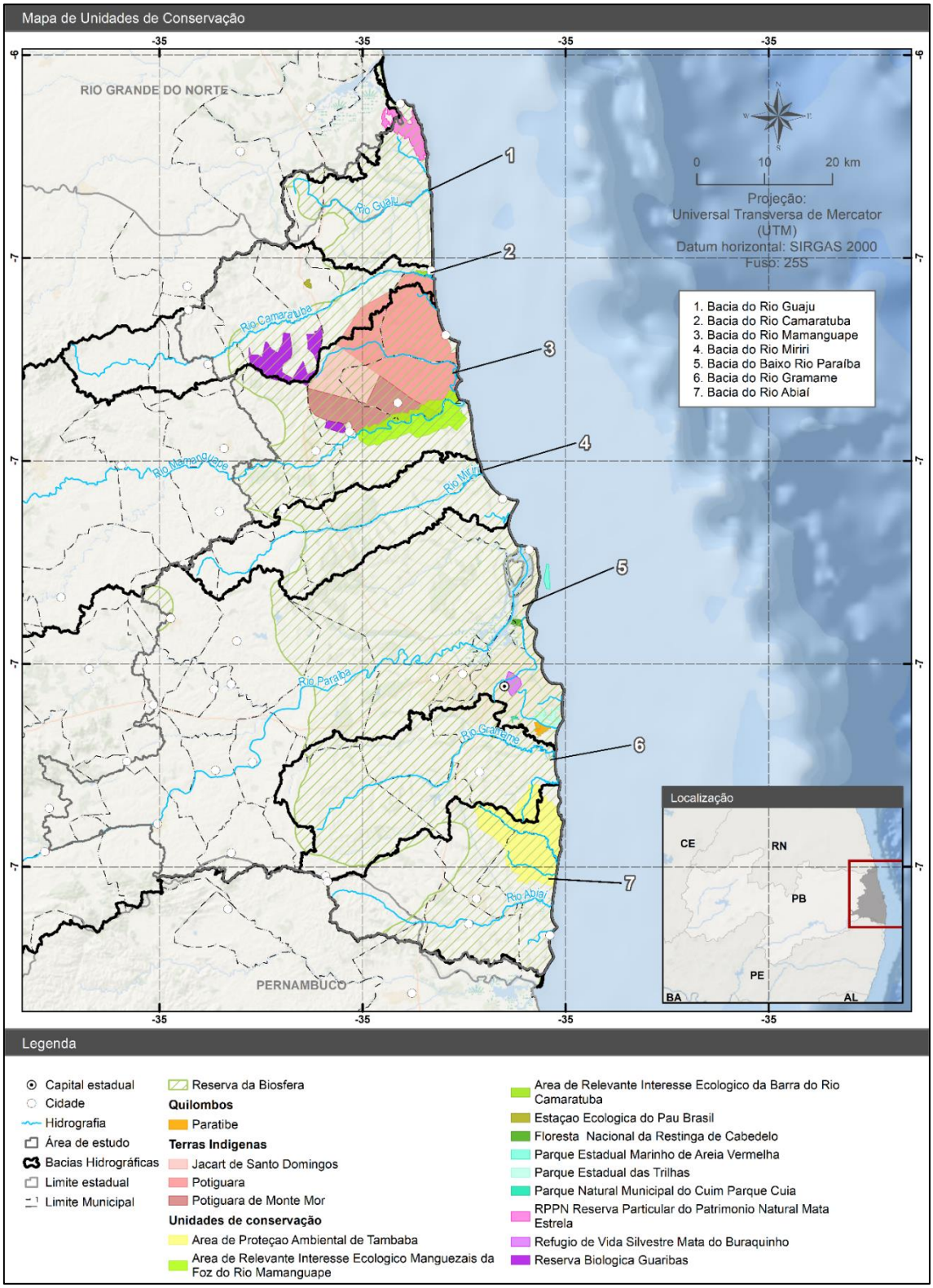


Figura 2.20 – Unidades de conservação, Terras Indígenas e Quilombos.

2.2.3.3.2 Áreas de Preservação Permanente (APPs)

Na área de estudo, há um total de aproximadamente 387,35 km² de áreas de preservação permanente, sendo que 302,81 km² são APPs de curso d'água, 74,88 km² APPs de manguezal, 0,12 km² APPs de restinga, 0,01 km² APPs de declive e 9,52 km² APPs de nascente. A Figura 2.21 apresenta a espacialização das APPs na área de estudo.

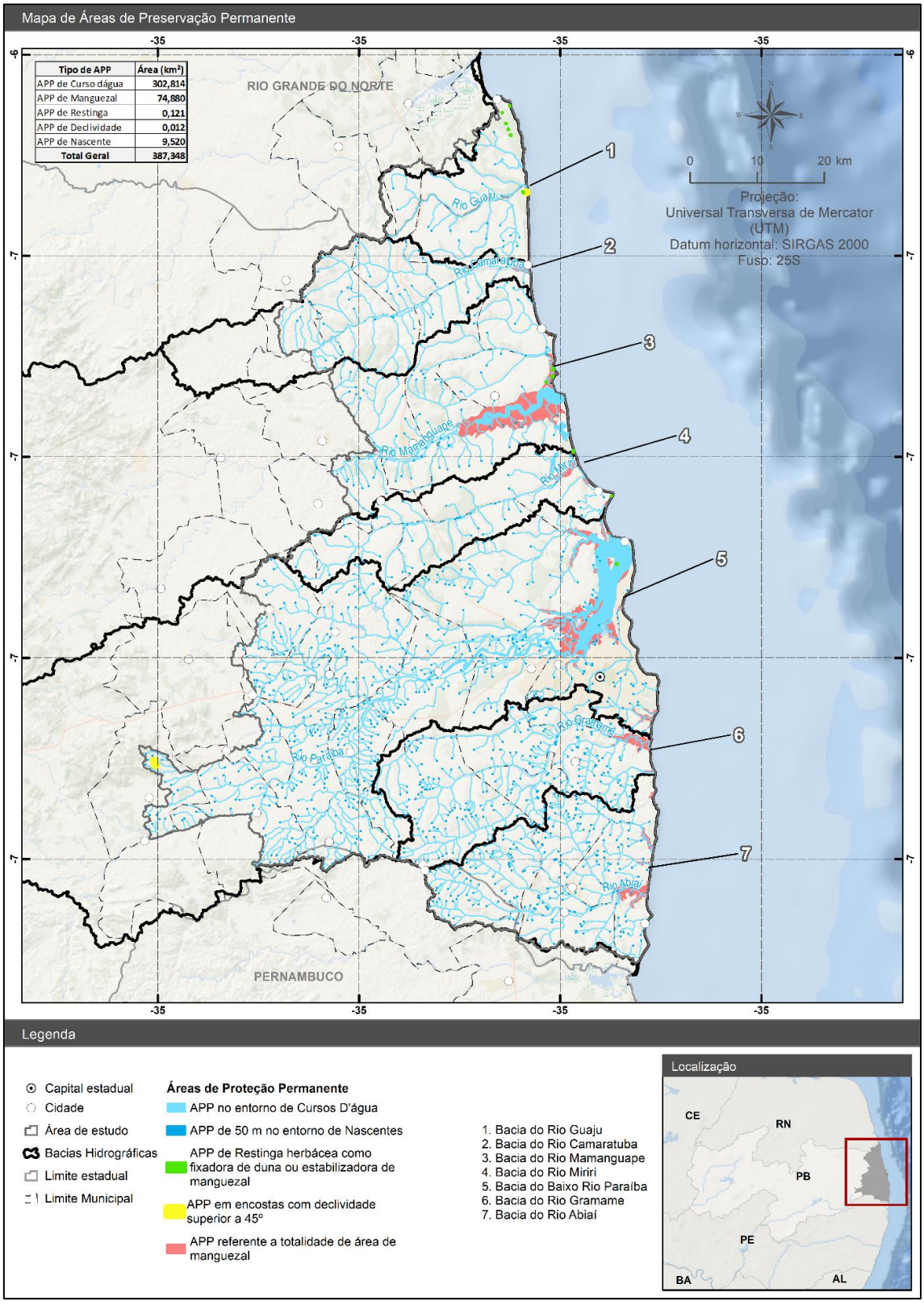


Figura 2.21 – Áreas de Preservação Permanente na área de estudo.

O Quadro 2.10 apresenta o uso do solo em APP por Bacia Hidrográfica. Destaca-se que a Bacia do Rio Abiaí e a Bacia do Rio Camaratuba possuem mais 30% de APPs ocupadas por agricultura e pastagem.

Quadro 2.10 – Uso do solo em APP por Bacia Hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Uso do solo em APP	Área (km²)	% da APP total	% da APP total da Bacia	% da Área de Estudo
Bacia do Rio Abiaí	Agricultura e pastagem	11,395	2,94	31,02	0,219
	Área úmida	4,483	1,16	12,20	0,086
	Área urbana	0,470	0,12	1,28	0,009
	Corpo d'água	0,978	0,25	2,66	0,019
	Solo exposto, duna e areal	0,032	0,01	0,09	0,001
	Vegetação campestre e herbácea	0,401	0,10	1,09	0,008
	Vegetação florestal	18,979	4,90	51,66	0,364
	Total	***36,737***	***9,48***	***100,00***	***0,705***
Bacia do Rio Camaratuba	Agricultura e pastagem	7,429	1,92	37,98	0,143
	Área úmida	1,899	0,49	9,71	0,036
	Área urbana	0,177	0,05	0,91	0,003
	Corpo d'água	0,205	0,05	1,05	0,004
	Solo exposto, duna e areal	0,024	0,01	0,12	0,0005
	Vegetação campestre e herbácea	1,384	0,36	7,08	0,027
	Vegetação florestal	8,443	2,18	43,16	0,162
	Total	***19,561***	***5,05***	***100,00***	***0,376***
Bacia do Rio Gramame	Agricultura e pastagem	9,682	2,50	26,27	0,186
	Área úmida	0,120	0,03	0,33	0,002
	Área urbana	0,805	0,21	2,18	0,015
	Corpo d'água	2,246	0,58	6,09	0,043
	Solo exposto, duna e areal	0,055	0,01	0,15	0,001
	Vegetação campestre e herbácea	2,647	0,68	7,18	0,051
	Vegetação florestal	21,297	5,50	57,79	0,409
	Total	***36,852***	***9,51***	***100,00***	***0,708***
Bacia do Rio Guaju	Agricultura e pastagem	1,830	0,47	19,64	0,035
	Área úmida	0,549	0,14	5,89	0,011
	Área urbana	0,042	0,01	0,45	0,001
	Corpo d'água	1,765	0,46	18,95	0,034
	Solo exposto, duna e areal	0,042	0,01	0,45	0,001
	Vegetação campestre e herbácea	0,782	0,20	8,39	0,015
	Vegetação florestal	4,306	1,11	46,23	0,083

Bacia Hidrográfica	Uso do solo em APP	Área (km²)	% da APP total	% da APP total da Bacia	% da Área de Estudo
	Total	***9,315***	***2,40***	***100,00***	***0,179***
Bacia do Rio Mamanguape	Agricultura e pastagem	9,078	2,34	11,81	0,174
	Área úmida	3,836	0,99	4,99	0,074
	Área urbana	1,064	0,27	1,38	0,020
	Corpo d'água	9,326	2,41	12,14	0,179
	Solo exposto, duna e areal	0,071	0,02	0,09	0,001
	Vegetação campestre e herbácea	3,362	0,87	4,37	0,065
	Vegetação florestal	50,106	12,94	65,21	0,962
	Total	***76,843***	***19,84***	***100,00***	***1,475***
Bacia do Rio Miriri	Agricultura e pastagem	4,690	1,21	25,56	0,090
	Área úmida	0,426	0,11	2,32	0,008
	Área urbana	0,310	0,08	1,69	0,006
	Corpo d'água	2,035	0,53	11,09	0,039
	Solo exposto, duna e areal	0,054	0,01	0,29	0,001
	Vegetação campestre e herbácea	2,031	0,52	11,07	0,039
	Vegetação florestal	8,806	2,27	47,99	0,169
	Total	***18,351***	***4,74***	***100,00***	***0,352***
Bacia do Rio Paraíba	Agricultura e pastagem	54,883	14,17	28,93	1,054
	Área úmida	2,323	0,60	1,22	0,045
	Área urbana	9,967	2,57	5,25	0,191
	Corpo d'água	40,092	10,35	21,14	0,770
	Solo exposto, duna e areal	0,494	0,13	0,26	0,009
	Vegetação campestre e herbácea	7,727	1,99	4,07	0,148
	Vegetação florestal	74,203	19,16	39,12	1,425
	Total	***189,689***	***48,97***	***100,00***	***3,642***
Total geral		**387,348**	**100,00**		**7,437**

A Figura 2.22 apresenta os percentuais de áreas antropizadas e conservadas nas APPs dos municípios da área de estudo. Os municípios de Pedro Velho (RN), Curral de Cima e Baía da Traição se destacam na região por apresentarem os maiores percentuais de APPs preservadas, com 97,71%, 95,35% e 95,02%, respectivamente. Já os municípios de Sobrado, São José dos Ramos e Itatibaiana se destacam na região por apresentarem os maiores percentuais de APPs antropizadas, com 75,62%, 71,55% e 73,31%, respectivamente.

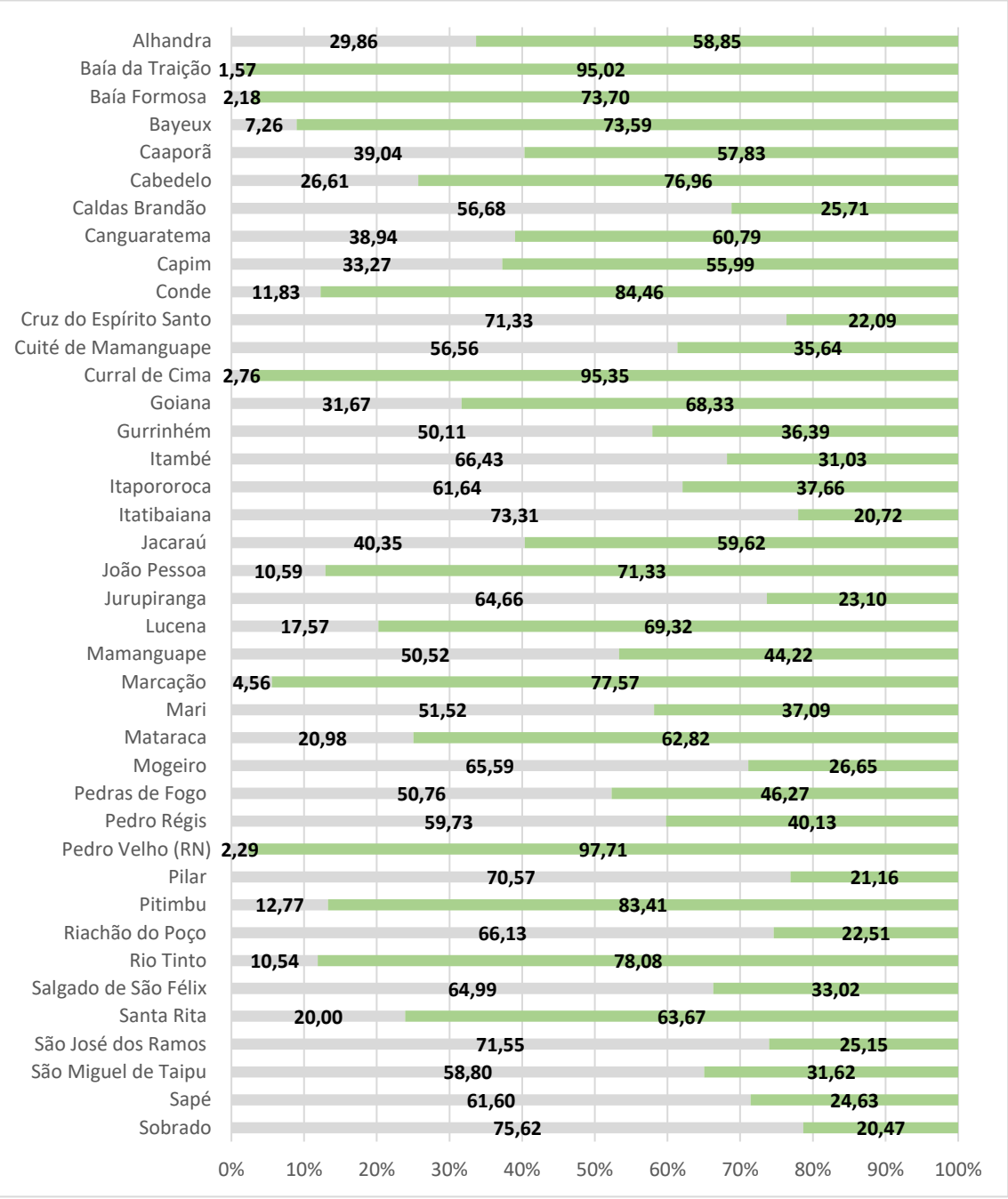


Figura 2.22 – APPs nos municípios (% antropizado em cinza e % conservação em verde).

2.2.4 *POPULAÇÃO E INDICADORES SOCIOECONÔMICOS*

Este item foi baseado nos seguintes levantamentos e processamentos de dados:

- **População e Indicadores Socioeconômicos:** Levantamento de dados do IBGE, do Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal e do Índice de Gestão Municipal Aquila.

Na região do estudo, o município de João Pessoa possui a maior população total em 2022, com 833.932 habitantes, enquanto Riachão do Poço tem a menor população total, com apenas 4.738 habitantes. Já quanto à densidade demográfica, João Pessoa apresenta a maior densidade demográfica em 2022, com 3.970,27 habitantes por km², enquanto Baía Formosa tem a menor densidade demográfica, com apenas 35,65 habitantes por km². O Quadro 2.11 apresenta a lista dos municípios com os dados de população e densidade demográfica para ano de 2022, enquanto a Figura 2.23 e a Figura 2.24 apresentam a espacialização desses dados.

Quadro 2.11 – População e densidade demográfica dos municípios.

Município	População total (hab) (2022)	Densidade demográfica (hab/km²) (2022)
Alhandra	21.713	118,02
Araçagi	16.646	71,7
Baía da Traição	9.224	89,77
Baía Formosa	82.742	35,65
Bayeux	82.742	2.986,54
Caaporã	21.193	140,33
Cabedelo	66.519	2.226,73
Caldas Brandão	5.753	102,8
Canguaretama	29.668	120,85
Capim	6.970	87,26
Conde	27.605	161,18
Cruz do Espírito Santo	17.095	88,8
Cuité de Mamanguape	6.251	58,05
Curral de Cima	5.244	60,79
Goiana	81.042	181,95
Gurinhém	13.766	40,44
Itabaiana	23.182	110,09
Itambé	34.935	114,92
Itapororoca	23.940	126,07

Município	População total (hab) (2022)	Densidade demográfica (hab/km²) (2022)
Jacaraú	14.302	55,68
João Pessoa	833.932	3.970,27
Juripiranga	10.012	127,21
Lucena	12.560	133,9
Mamanguape	44.599	132,17
Marcação	8.999	73,36
Mari	21.512	138,55
Mataraca	8.244	45,19
Mogeiro	13.899	64,92
Mulungu	8.791	46,95
Pedras de Fogo	29.662	72,93
Pedro Régis	5.766	77,69
Pedro Velho	13.824	71,74
Pilar	12.311	119,17
Pitimbu	16.751	123,35
Riachão do Poço	4.738	117,1
Rio Tinto	24.581	52,84
Salgado de São Félix	11.505	56,38
Santa Rita	149.910	208,62
São José dos Ramos	5.891	58,53
São Miguel de Taipu	7.066	76,46
Sapé	51.306	163,56
Sobrado	8.236	132,94

Fonte: IBGE (2022).

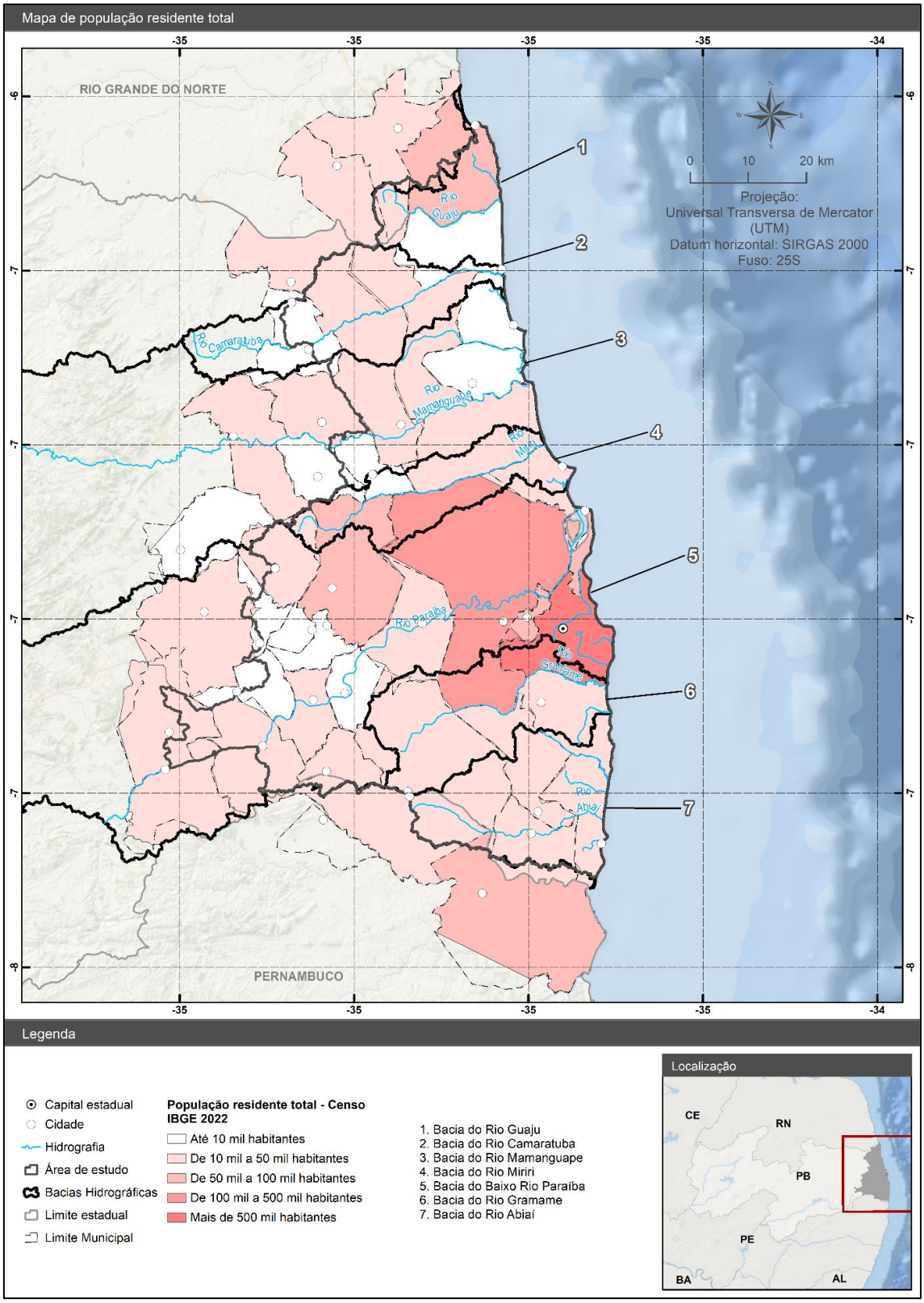


Figura 2.23 – População residente total.

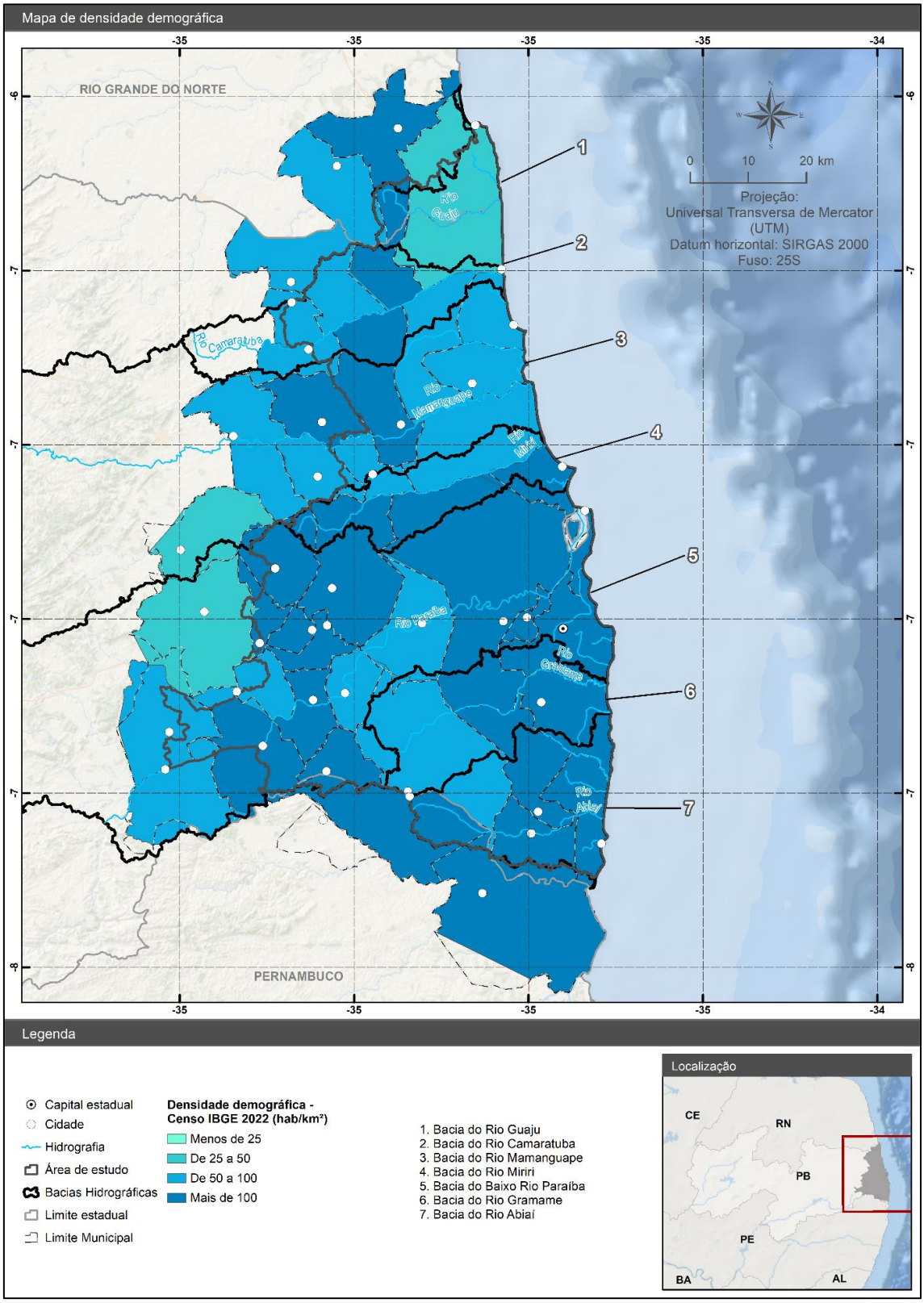


Figura 2.24 – Densidade demográfica.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) é uma medida utilizada para avaliar o desenvolvimento humano em nível municipal ou local dentro de um país. Ele é uma extensão do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) utilizado globalmente pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para avaliar o bem-estar e o desenvolvimento humano nos países.

O IDH-M é calculado com base em três principais indicadores:

- **Saúde:** Representado pela expectativa de vida ao nascer que reflete a qualidade e a expectativa de vida da população local.
- **Educação:** Medido por dois indicadores: a taxa de alfabetização de adultos e a taxa de escolaridade da população em idade escolar. Esses indicadores buscam avaliar o acesso à educação e a qualidade do sistema educacional na região.
- **Renda:** Medida pelo PIB per capita local, que representa a renda média da população em um determinado município ou área. Cada um desses indicadores é normalizado e ponderado de acordo com a relevância atribuída a eles no cálculo do IDH-M. O resultado é um valor que varia de 0 a 1, onde 0 representa o desenvolvimento humano mais baixo e 1 representa o desenvolvimento humano mais alto.

O IDH-M é uma ferramenta valiosa para comparar o desenvolvimento entre diferentes áreas dentro de um país e identificar desigualdades regionais. Ele pode ser usado para orientar políticas públicas e investimentos, ajudando a melhorar a qualidade de vida das populações em nível local.

Na área de estudo, conforme o Quadro 2.12, o município de João Pessoa registra o maior IDH Municipal, com um valor de 0,763, enquanto Cuité de Mamanguape possui o menor IDH, com 0,524. A Figura 2.25 ilustra a espacialização do IDH-M dos municípios da região do estudo.

Quadro 2.12 – Indicadores socioeconômicos dos municípios.

Município	IDH (2010)	PIB per capita (2020)	IFDM (2016)	IGMA (2023)
Alhandra	0,582	111.427,12	0,67743	41,74
Araçagi	0,549	10.050,25	0,571724	41,13
Baía da Traição	0,581	10.371,91	0,556433	35,92
Baía Formosa	0,609	29.782,91	0,696037	50,06

Município	IDH (2010)	PIB per capita (2020)	IFDM (2016)	IGMA (2023)
Bayeux	0,649	13.276,89	0,613503	41,14
Caaporã	0,602	21.648,78	0,59017	41,18
Cabedelo	0,748	39.869,90	0,765463	54,66
Caldas Brandão	0,568	11.434,45	0,672281	52,07
Canguaretama	0,579	17.280,94	0,6317	42,07
Capim	0,533	10.692,32	0,572252	40,66
Conde	0,618	35.695,96	0,676591	44,02
Cruz do Espírito Santo	0,552	9.477,04	0,533337	31,67
Cuité de Mamanguape	0,524	10.647,66	0,57556	35,46
Curral de Cima	0,529	9.840,21	0,477113	38,72
Goiana	0,651	93.304,73	0,757906	53,88
Gurinhém	0,556	9.778,81	0,580485	41,79
Itabaiana	0,613	13.002,99	0,602316	44,87
Itambé	0,575	13.649,54	0,652206	38,57
Itapororoca	0,564	10.063,87	0,599838	43,22
Jacaraú	0,558	10.200,90	0,667683	43,23
João Pessoa	0,763	25.402,17	0,775261	62,08
Juripiranga	0,548	10.298,26	0,656244	43,03
Lucena	0,583	15.197,92	0,661132	41,48
Mamanguape	0,585	15.320,26	0,656265	45,65
Marcação	0,529	10.121,85	0,575646	31,54
Mari	0,548	10.091,56	0,556592	45,05
Mataraca	0,536	26.426,36	0,643531	54,8
Mogeiro	0,574	12.382,68	0,631956	47,95
Mulungu	0,565	8.922,39	-	36,84
Pedras de Fogo	0,59	18.838,47	0,723047	46,63
Pedro Régis	0,542	8.569,80	0,62163	43,09
Pedro Velho	0,568	11.012,70	0,616341	43,27
Pilar	0,579	9.413,17	0,699173	45,77
Pitimbu	0,57	19.484,92	0,57224	35,67
Riachão do Poço	0,555	11.482,51	0,64693	36,75
Rio Tinto	0,585	11.883,20	0,629526	36,86
Salgado de São Félix	0,568	10.639,36	0,640577	44,51
Santa Rita	0,627	18.672,87	0,657076	42,13
São José dos Ramos	0,541	8.997,07	0,54447	38,32
São Miguel de Taipu	0,548	10.583,15	0,595024	39,82
Sapé	0,569	11.966,82	0,598885	41,42
Sobrado	0,573	12.380,66	0,620453	38,45

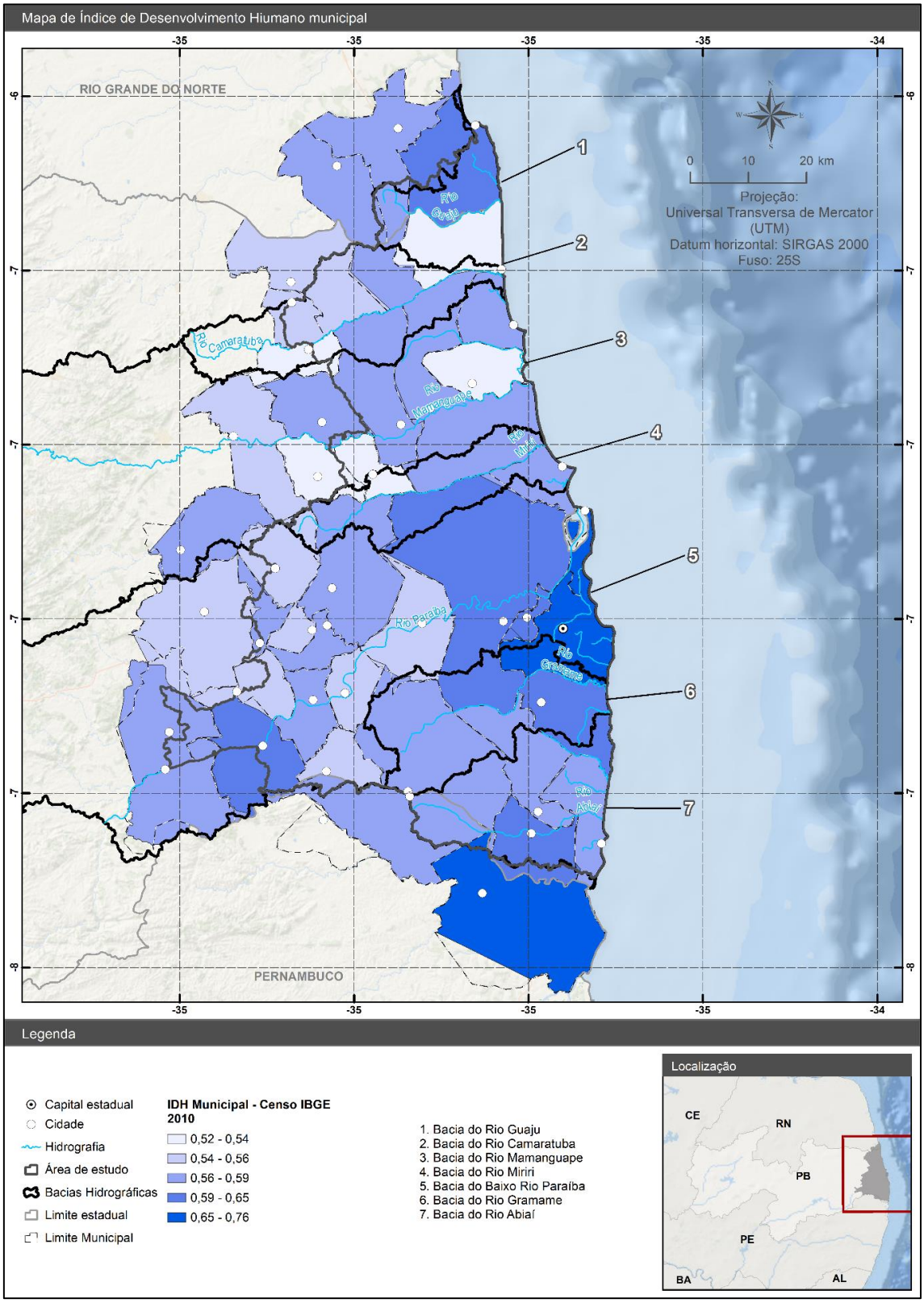


Figura 2.25 – IDH Municipal.

O Produto Interno Bruto per capita, geralmente abreviado como PIB per capita, é uma medida econômica que calcula o valor médio da produção econômica (ou renda) por pessoa em uma determinada região, como um país, estado, cidade ou mesmo uma área menor. É uma métrica importante para avaliar o padrão de vida e o nível de prosperidade econômica de uma população.

O cálculo do PIB per capita é o resultado da divisão do Produto Interno Bruto (PIB) pela população de uma determinada região:

- **Produto Interno Bruto (PIB)**: O PIB é o valor total de todos os bens e serviços produzidos em uma determinada região durante um período específico, geralmente um ano. Ele inclui todos os setores da economia, como agricultura, indústria, serviços, comércio, entre outros.
- **População:** A população da área em questão é o número total de habitantes.

O PIB per capita é uma medida importante para comparar o padrão de vida entre diferentes regiões ou ao longo do tempo em uma mesma região. No entanto, é importante notar que o PIB per capita não leva em consideração a distribuição de renda dentro da população. Portanto, ele pode não refletir de forma precisa a qualidade de vida de todos os indivíduos em uma determinada área. Desigualdades econômicas podem resultar em disparidades significativas entre o PIB per capita médio e a realidade vivida por diferentes grupos da população.

Na área de estudo, conforme o Quadro 2.12, o município de Alhandra possui o maior PIB per capita, com R$ 111.427,12, enquanto Pedro Régis registra o menor PIB per capita, com R$ 8.569,80. A Figura 2.26 ilustra a espacialização do PIB per capita dos municípios da região do estudo.

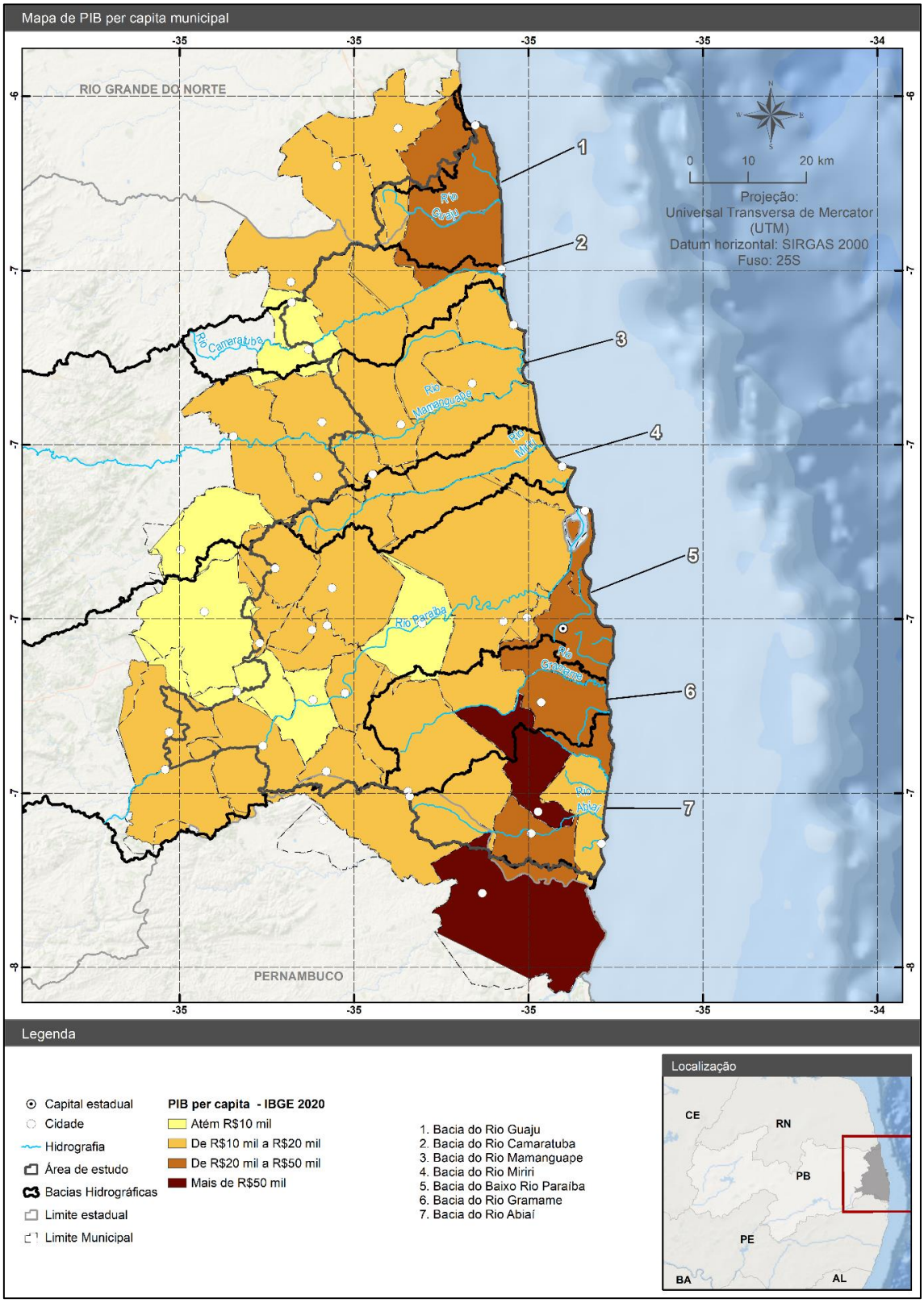


Figura 2.26 – PIB per capita.

O Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal – IFDM é similar ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal que foi uma adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano desenvolvido pelas Nações Unidas. A diferença entre eles é que o IDHM e o IDH se baseiam em dados censitários, enquanto o IFDM tem informações disponíveis a cada ano. Apesar de ser buscada uma similaridade, não é possível fazer uma comparação direta do IFDM com o IDHM. Diferenças como a utilização do PIB pelo IDH e estatísticas oficiais de renda e trabalho formal pelo IFDM geram resultados diferentes. O IFDM é mais adequado à realidade municipal brasileira e apresenta informações anuais sobre o desenvolvimento municipal. O IDH foi criado para países e o IDHM uma adaptação para ser elaborada a cada década, com base em informações censitárias.

O IFDM foi proposto e é calculado pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – FIRJAN para todos os municípios brasileiros e a última avaliação disponível é de 2016, enquanto o IDHM se refere a 2010. A Figura 2.27 ilustra os valores do IFDM para os municípios da região do estudo.

A classificação adotada pela FIRJAN colocaria os municípios da região do estudo em apenas duas categorias: desenvolvimento moderado (0,4 a 0,6) e regular (0,6 a 0,8). Na área de estudo, conforme o Quadro 2.12, o município de João Pessoa lidera com o maior IFDM, com 0,775261, enquanto Curral de Cima possui o menor IFDM, com 0,477113.

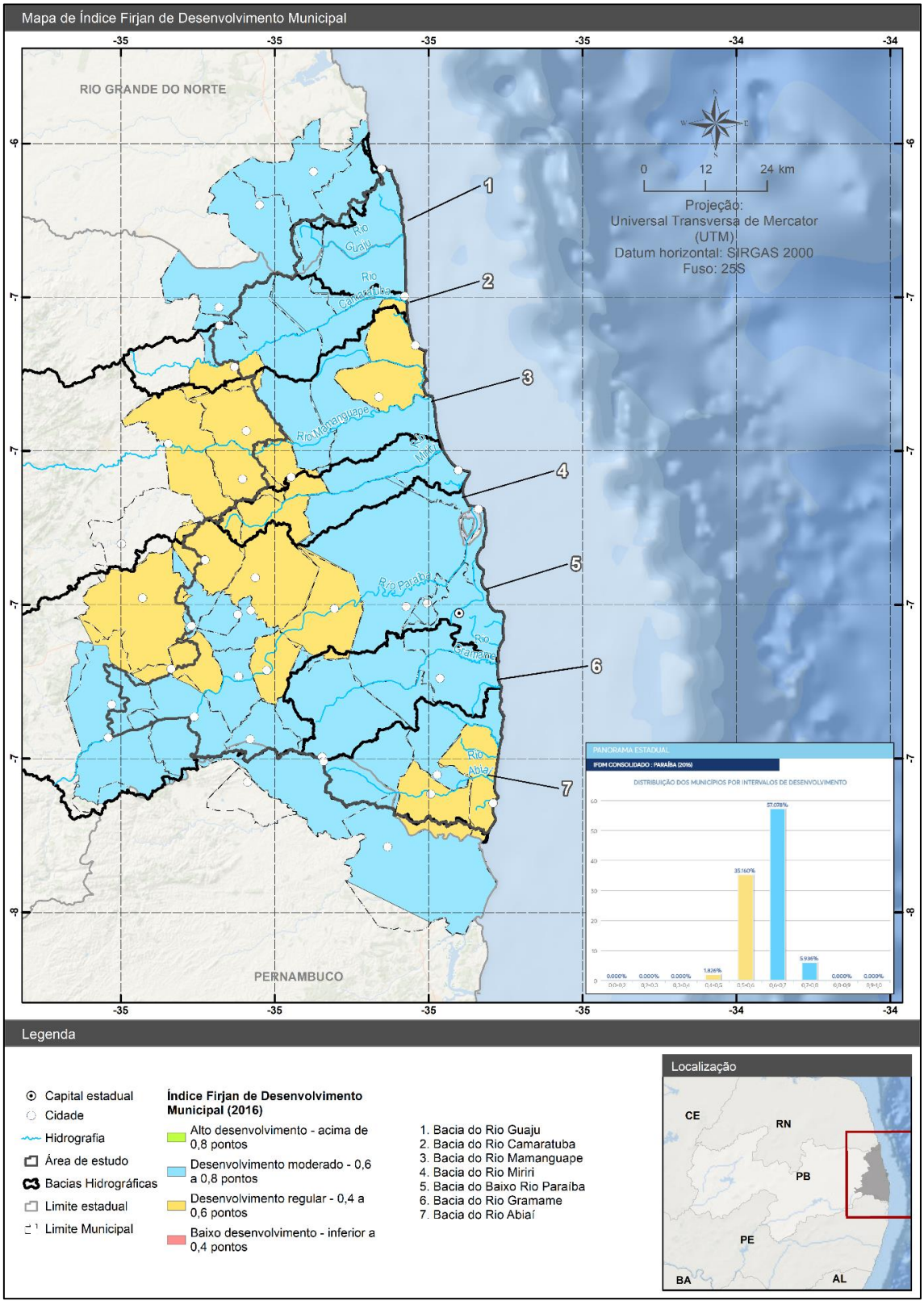


Figura 2.27 – Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal – IFDM.

O IGMA – Índice de Gestão Municipal Aquila é uma plataforma com o propósito de acompanhar o desenvolvimento das cidades brasileiras e fornecer conhecimentos valiosos aos gestores municipais sobre as melhores práticas. Baseado em 67 indicadores provenientes de fontes públicas primárias, o IGMA classifica os municípios em seis pilares: governança, eficiência fiscal e transparência; educação; saúde e bem-estar; infraestrutura e mobilidade urbana; sustentabilidade; desenvolvimento socioeconômico e ordem pública. A Figura 2.28 ilustra os valores do IGMA para os municípios da região do estudo.

A classificação adotada pela IGMA colocaria os municípios da região do estudo em apenas duas categorias: situação crítica (0 a 50 pontos) e em desenvolvimento (50 a 65 pontos). Na área de estudo, conforme o Quadro 2.12, o município de João Pessoa se destaca com o maior IGMA, com 62,08, enquanto Marcação possui o menor IGMA, com 31,54.

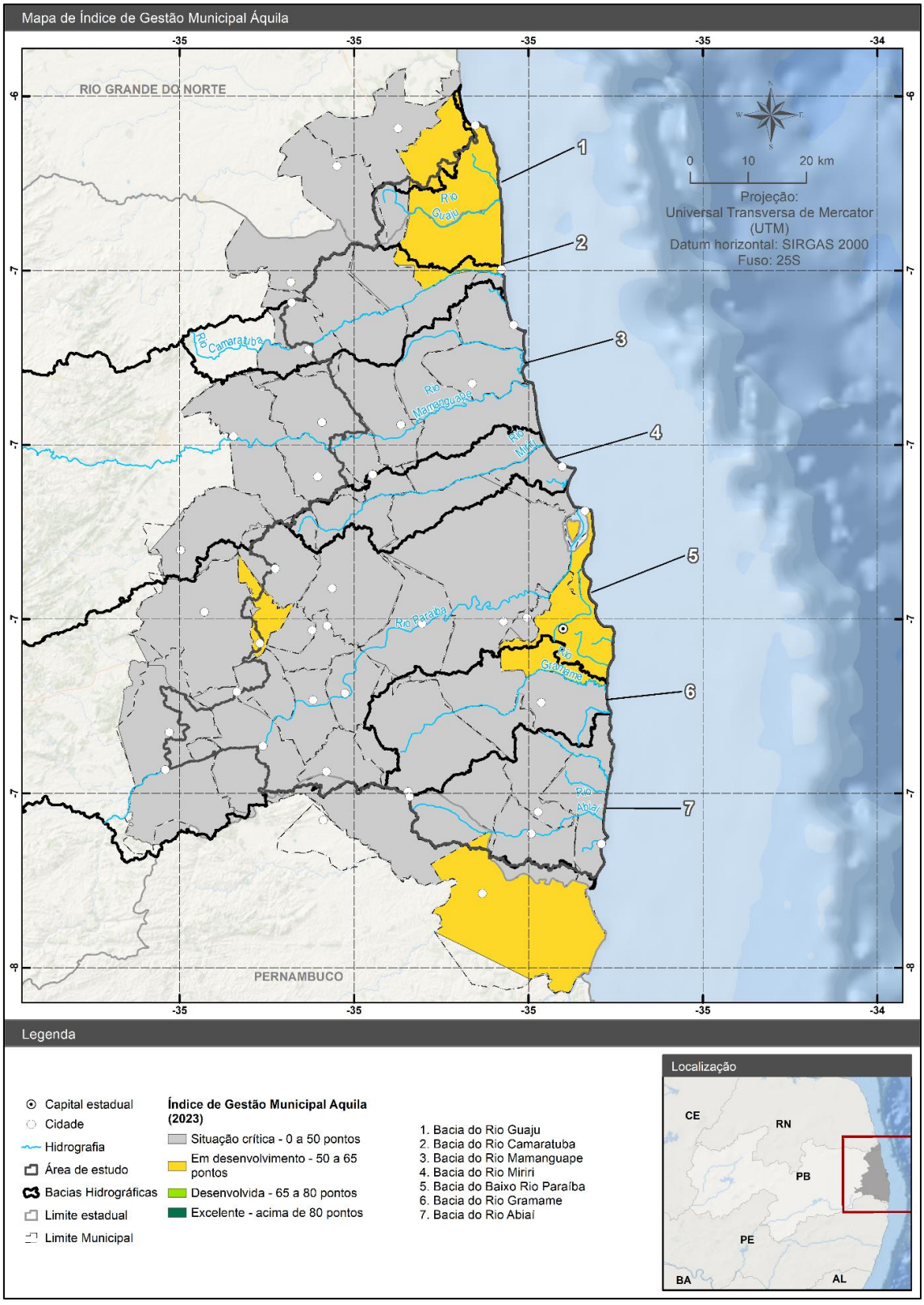


Figura 2.28 – Índice de Gestão Municipal Aquila.

2.2.5 *CLIMA E HIDROLOGIA*

Para a caracterização do regime pluviométrico e fluviométrico do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco foi realizado um levantamento dos dados de todas as redes de monitoramento existentes na área de estudo e cadastradas na base de dados da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) no Portal Hidroweb, que também apresenta um inventário das estações fluviométricas e pluviométricas existentes no país, reunindo dados de níveis, vazões, precipitação, clima, qualidade da água e sedimentos.

A AESA possui o maior número de estações pluviométricas localizadas na área do SAPP e a maioria com dados de precipitação disponíveis. No Hidroweb, os dados da AESA estão atualizados até 2018. Contudo, para a elaboração do presente estudo, foram fornecidos pela AESA dados de precipitação consistidos e atualizados até o ano de 2022 para 20 estações localizadas na área do SAPP. Os dados foram homogeneizados para o período entre 1994 e 2022 (29 anos), período esse utilizado para a elaboração dos mapas de isoietas e para a caracterização da precipitação nas bacias hidrográficas.

Para a análise do escoamento superficial dos rios das bacias foram utilizadas as estações fluviométricas da ANA, CPRM e AESA. Foram selecionadas 11 estações com dados de monitoramento adequados para as análises e localizadas nas bacias de influência da área do SAPP. Foram calculadas as vazões características em cada estação (Q_{mlp}, Q_{50}, Q_{90}, Q_{95}, Q_{98} e Q_{99}) e realizadas avaliações acerca do escoamento superficial e de base, através dos hidrogramas de escoamento. Realizou-se a separação dos escoamentos superficial e subterrâneo através da aplicação de filtros numéricos aos hidrogramas de escoamento para cada ano hidrológico. Foram utilizados filtros matemáticos desenvolvidos por Lyne e Hollick (1979), Chapman (1991), Chapman e Maxwell (1996), Eckhardt (2005; 2008), e Collischonn e Fan (2013).

2.2.5.1 Dados de monitoramento pluviométrico

Para a área do SAPP estão cadastradas no Hidroweb 90 estações pluviométricas, cuja distribuição, considerando seus operadores, é apresentada no Quadro 2.13. Conforme pode-se observar no Quadro 2.13 e Quadro 2.14, a AESA possui o maior número de

estações localizadas na área do SAPP e a maioria com dados de precipitação pluviométrica disponíveis.

Quadro 2.13 – Estações pluviométricas localizadas na área do SAPP.

Operador	Número de Estações	Estações com dados disponíveis
AESA-PB	36	35
CAGEPA	19	0
CEMADEN	18	5
DNOS	6	1
DNOCS	4	3
SUDENE	3	2
INMET	2	1
ANA/CPRM	1	1
EMPARN-RN	1	0
Total Geral	**90**	**48**

Quadro 2.14 – Estações pluviométricas da AESA localizadas na área do SAPP.

Nome	Código	Dados	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operador	Bacia	Selecionada
BAÍA DA TRAIÇÃO	634000	1995-2022	Sim	-6,671	-34,954	0	BAÍA DA TRAIÇÃO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Sim
LUCENA	634001	1996-2022 (falhas)	Sim	-6,893	-34,883	0	LUCENA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Miriri	Não
CABEDELO/CAGEPA	634002	1998-2022	Sim	-6,971	-34,833	0	CABEDELO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
MAMANGUAPE/ASPLAN	635117	1995-2022	Sim	-6,561	-35,135	0	MAMANGUAPE	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Camaratuba	Sim
RIO TINTO/USINA AGICAM	635119	1994-2016 (falhas)	Sim	-6,611	-35,056	0	RIO TINTO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Camaratuba	Não
RIO TINTO	635127	1996-2022	Sim	-6,810	-35,075	0	RIO TINTO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Sim
CAPIM	635129	1994-2018	Sim	-6,923	-35,173	0	CAPIM	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Sim
MAMANGUAPE	635138	1994-2022	Sim	-6,836	-35,121	0	MAMANGUAPE	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Sim
MARCAÇÃO	635139	2010-2012 (falhas)	Sim	-6,772	-35,016	0	MARCAÇÃO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Não
MATARACA	635140	1996-2022	Sim	-6,601	-35,054	0	MATARACA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Camaratuba	Sim
CONDE	734000	1996-2022 (falhas)	Sim	-7,253	-34,922	100	CONDE	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Não
SANTA RITA	734001	1996-2022	Sim	-7,141	-34,983	16	SANTA RITA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
JOÃO PESSOA/DFAARA	734002	1994-2022	Sim	-7,083	-34,833	5	JOÃO PESSOA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
ALHANDRA	734008	1994-2022	Sim	-7,426	-34,911	49	ALHANDRA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Abiaí	Sim
BAYEUX	734036	1996-2022	Sim	-7,134	-34,938	0	BAYEUX	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
JOÃO PESSOA/MARES	734037	1996-2022	Sim	-7,156	-34,909	0	JOÃO PESSOA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
JOÃO PESSOA/MANGABEIRA	734038	1996-2022	Sim	-7,197	-34,813	0	JOÃO PESSOA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
JOÃO PESSOA/CEDRES	734039	2007-2022	Sim	-7,217	-34,950	0	JOÃO PESSOA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Não
CONDE/AÇ.GRAMAMEMA MUABA	734040	1995-2022	Sim	-7,253	-34,930	0	CONDE	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Sim
PITIMBU	734041	1996-2022	Sim	-7,454	-34,837	0	PITIMBU	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Abiaí	Sim

Nome	Código	Dados	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operador	Bacia	Selecionada
CABEDELO/EMATER	734042	2001-2018	Sim	-7,088	-34,850	0	CABEDELO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
CAAPORÃ	734043	1994-2022	Sim	-7,5156	-34,9172	0	CAAPORÃ	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Abiaí	Sim
SAPÉ	735006	1924-1993	Sim	-7,093	-35,223	125	SAPÉ	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
ITABAIANA	735015	1910-1994	Sim	-7,325	-35,345	45	ITABAIANA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	735019	1995-2022	Sim	-7,141	-35,091	20	CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
CALDAS BRANÃO	735035	1962-1994	Sim	-7,103	-35,324	146	CALDAS BRANDÃO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
RIACHÃO DO POÇO	735192	2010-2018	Sim	-7,149	-35,263	0	RIACHÃO DO POÇO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
SOBRADO	735193	2010-2012	Sim	-7,146	-35,236	0	SOBRADO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
PONTE DA BATALHA	735194	Sem dados	Sim	-7,130	-35,048	0	SOBRADO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
SÃO MIGUEL DE TAIPU	735196	1994-2018	Sim	-7,250	-35,209	0	SÃO MIGUEL DE TAIPU	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
SANTA RITA/INDAIÁ	735197	2007-2016	Sim	-7,225	-35,032	0	SANTA RITA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Não
PEDRAS DE FOGO/ENGENHO NOVO I	735198	2007-2010	Sim	-7,286	-35,154	0	PEDRAS DE FOGO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Não
PEDRAS DE FOGO/CAMPO VERDE	735199	2007-2010	Sim	-7,263	-35,117	0	PEDRAS DE FOGO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Não
PEDRAS DE FOGO/FAZ.BURACO FUNDO	735200	2007-2010	Sim	-7,322	-35,058	0	PEDRAS DE FOGO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Não
JURIPIRANGA	735202	1996-2018 (falhas)	Sim	-7,372	-35,241	0	JURIPIRANGA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
PEDRAS DE FOGO	735203	1994-2022	Sim	-7,401	-35,118	0	PEDRAS DE FOGO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Sim

Em relação aos dados de precipitação da CAGEPA, não existem dados disponíveis no Hidroweb (Quadro 2.15). Os dados de precipitação do CEMADEM estão disponíveis para cinco das 18 estações localizadas na área do SAPP, conforme apresentado no Quadro 2.16, sendo que das cinco, quatro possuem 100% dos dados disponíveis entre 1994 e 2018 e uma possui dados disponíveis entre 1999 e 2018 (sem falhas).

A disponibilidade de dados das estações do DNOCS, DNOS e SUDENE para a área do SAPP é apresentada no Quadro 2.17. É possível observar que os dados estão compreendidos no período entre 1910 e 1994. Dessas estações, foram selecionadas quatro (Mamanguape, Santa Rita, João Pessoa e Alhandra) para avaliar a evolução da precipitação pluviométrica na área do SAPP ao longo de três períodos distintos: 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022, sendo que para esse último período foram utilizadas as estações da AESA, de mesmo nome, localizadas próximas aos antigos postos do DNOCS, DNOS e SUDENE.

O Quadro 2.17 também apresenta a disponibilidade de dados das estações da ANA/CPRM e do INMET. A disponibilidade dos dados nessas estações compreende o período entre 1980 e 2022 para a estação Ponte da Batalha da ANA/CPRM e 1961 a 2019 para a estação João Pessoa do INMET.

A partir das análises realizadas, observou-se que o período com maior quantidade de dados disponível, considerando anos completos de dados de precipitação, foi aquele compreendido entre 1994 e 2022. Esse período, portanto, foi considerado nas análises subsequentes e determinou a seleção das estações pluviométricas do presente estudo.

Para a elaboração do mapa de isoietas foram consideradas as estações da AESA, INMET e da ANA/CPRM existentes na área do SAPP, com dados disponíveis entre 1994 e 2022, compreendendo ao todo 20 estações (18 da AESA, uma do INMET e uma da ANA/CPRM). Além dessas, foram selecionadas outras 14 estações externas à área de estudo e que possuem dados de monitoramento de precipitação nesse mesmo período, sendo 11 da AESA, uma da ANA/CPRM e duas do CEMADEN. No total, portanto, para a elaboração das isoietas de precipitação foram selecionadas 34 estações pluviométricas, cuja localização e informações podem ser visualizados na Figura 2.29 e Quadro 2.18, respectivamente.

Quadro 2.15 – Estações pluviométricas da CAGEPA localizadas na área do SAPP.

Nome	Código	Dados	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operador	Bacia	Selecionada
ÁGUA MINERAL (04)	735128	ND	Sim	-7,183	-35,017	85	SANTA TERESINHA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
ENGENHO FAZENDINHA (09)	735131	ND	Sim	-7,3	-35,15	127	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA BULHÕES (12)	735134	ND	Sim	-7,367	-35,05	99	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA IMBE (08)	735130	ND	Sim	-7,25	-35,117	122	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA MAMOABA DE CIMA (10)	735132	ND	Sim	-7,283	-35,083	136	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA MUMBABA (06)	734026	ND	Sim	-7,2	-34,983	76	SANTA TERESINHA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA PRINCESA (07)	735129	ND	Sim	-7,217	-35,1	89	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA SANTA EMÍLIA (11)	735133	ND	Sim	-7,367	-35,117	135	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA SANTO ANTÔNIO (16)	734028	ND	Sim	-7,283	-34,95	72	ALHANDRA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
FAZENDA VENEZA (17)	734029	ND	Sim	-7,167	-34,9	55	JOÃO PESSOA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
IMBIRIBEIRA (15)	735136	ND	Sim	-7,267	-35,05	101	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
JANGADA (03)	735127	ND	Sim	-7,333	-35,083	125	PEDRAS DE FOGO	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
MARACANÃ	734025	ND	Sim	-7,25	-34,983	71	SANTA TERESINHA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
MARES (01)	734024	ND	Sim	-7,15	-34,9	38	JOÃO PESSOA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
R-2 (21)	734031	ND	Sim	-7,083	-34,9	44	JOÃO PESSOA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
R-5 (22)	734032	ND	Sim	-7,083	-34,867	61	JOÃO PESSOA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
R-9 (19)	734030	ND	Sim	-7,1	-34,817	4	JOÃO PESSOA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
RIACHO DO SALTO (13)	735135	ND	Sim	-7,267	-35,033	110	ALHANDRA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não
VÁRZEA CERCADA (14)	734027	ND	Sim	-7,333	-34,983	76	ALHANDRA	CAGEPA	CAGEPA	SBH do Rio Gramame	Não

Quadro 2.16 – Estações pluviométricas do CEMADEN localizadas na área do SAPP.

Nome	Código	Dados	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operador	Bacia	Selecionada
CABEDELO_Centro	634003	ND	Sim	-6,973	-34,836	5	CABEDELO	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
MATARACA_Mataraca Baixa	635135	1994-2018	Sim	-6,602	-35,051	16	MATARACA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Rio Camaratuba	Não
BAYEUX_São Bento	734044	1994-2018	Sim	-7,122	-34,906	11	BAYEUX	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não

Nome	Código	Dados	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operador	Bacia	Selecionada
BAYEUX_Alto da Boa Vista	734045	1994-2018	Sim	-7,133	-34,940	51	BAYEUX	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
BAYEUX_Jardim Planalto	734046	1999-2018	Sim	-7,148	-34,923	56	BAYEUX	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
CAAPORÃ_Centro	734047	ND	Sim	7,516	-34,916	64	CAAPORÃ	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Rio Abiaí	Não
CABEDELO_Praia do Jacaré	734048	ND	Sim	-7,037	-34,851	8	CABEDELO	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
CABEDELO_Renascer II	734049	ND	Sim	-7,076	-34,850	10	CABEDELO	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA_Bairro do Cristo	734050	ND	Sim	-7,166	-34,882	52	JOÃO PESSOA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA_Cuiá	734051	ND	Sim	-7,184	-34,859	40	JOÃO PESSOA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA_Grotão	734052	ND	Sim	-7,185	-34,880	54	JOÃO PESSOA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA_Altiplano	734053	ND	Sim	-7,148	-34,798	22	JOÃO PESSOA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA_Tambauzinho	734054	ND	Sim	-7,124	-34,847	33	JOÃO PESSOA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA_Manaíra	734055	ND	Sim	-7,109	-34,837	8	JOÃO PESSOA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA_Centro	734056	ND	Sim	-7,119	-34,886	39	JOÃO PESSOA	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
PITIMBU_Centro	734057	ND	Sim	-7,478	-34,813	20	PITIMBU	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Rio Abiaí	Não
MARI_Centro	735215	1994-2018	Sim	-7,061	-35,317	147	MARI	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
SAPÉ_Sapé	735217	ND	Sim	-7,098	-35,224	116	SAPÉ	CEMADEN	CEMADEN	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não

Quadro 2.17 – Estações pluviométricas da ANA/CPRM, INMET, DNOCS, DNOS e SUDENE localizadas na área do SAPP.

Nome	Código	Dados	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operador	Bacia	Selecionada
CAPIM	635039	ND	Não	-6,950	-35,167	60	MAMANGUAPE	DNOS	DNOS	SBH do Rio Miriri	Não
JACARAU	635043	1962-1993	Não	-6,667	-35,283	140	JACARAÚ	SUDENE	SUDENE	SBH do Rio Camaratuba	Não
MAMANGUAPE	635044	1910-1993	Sim	-6,833	-35,117	54	MAMANGUAPE	DNOCS	DNOCS	SBH do Rio Mamanguape	Sim
MATARACA	635045	1962-1987	Não	-6,600	-35,050	35	MATARACA	SUDENE	SUDENE	SBH do Rio Camaratuba	Não
RIO TINTO	635046	ND	Não	-6,817	-35,083	53	RIO TINTO	SUDENE	SUDENE	SBH do Rio Mamanguape	Não
CAMARATUBA	635051	ND	Não	-6,833	-35,117	53	MAMANGUAPE	DNOS	DNOS	SBH do Rio Mamanguape	Não
BAIA FORMOSA - PREFEITURA	635089	ND	Sim	-6,383	-35,000	25	BAÍA FORMOSA	EMPARN-RN	EMPARN-RN	SBH do Rio Guaju	Não
SANTA RITA	734001	1926-1989	Sim	-7,141	-34,983	16	SANTA RITA	SUDENE	SUDENE	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
JOÃO PESSOA	734003	1912-1971	Sim	-7,117	-34,883	5	JOÃO PESSOA	DNOCS	DNOCS	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
JOÃO PESSOA	734004	1977-1978	Não	-7,133	-34,883	37	JOÃO PESSOA	DNOS	DNOS	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
JOÃO PESSOA	734006	1961-2019 (clima)	Sim	-7,100	-34,867	44	JOÃO PESSOA	INMET	INMET	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
ALHANDRA	734007	1936-1994	Não	-7,400	-34,900	49	ALHANDRA	DNOS	DNOS	SBH do Rio Abiaí	Sim

Nome	Código	Dados	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operador	Bacia	Selecionada
MUSSU MAGRO	734014	ND	Não	-7,117	-34,883	10	JOÃO PESSOA	DNOS	DNOS	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
PILAR	735007	1922-1994	Sim	-7,100	-35,283	35	PILAR	DNOCS	DNOCS	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
PONTE DA BATALHA	735036	1980-2022	Sim	-7,130	-35,048	18	SANTA TERESINHA	ANA	CPRM	SBH do Baixo Rio Paraíba	Sim
ITAMBÉ	735093	ND	Não	-7,417	-35,100	190	ITAMBÉ (EX-TAMBÉ)	DNOS	DNOS	SBH do Rio Abiaí	Não
ALGODÃO DO MANSO	735098	ND	Não	-7,000	-35,000	380	FREI MIGUELINHO	DNOCS	DNOCS	SBH do Baixo Rio Paraíba	Não
MAGUARI (ESPÍRITO SANTO)	735101	ND	Não	-7,233	-35,117	600	CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	INMET	INMET	SBH do Rio Gramame	Não

Quadro 2.18 – Estações pluviométricas selecionadas para a elaboração dos mapas de isoietas na área do SAPP e seu entorno.

Nome	Código	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operadora	Bacia	Area do SAPP
BAÍA DA TRAIÇÃO	634000	Sim	-6,6714	-34,9539	0	BAÍA DA TRAIÇÃO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Interna
CABEDELO/CAGEPA	634002	Sim	-6,9714	-34,8325	0	CABEDELO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
BELÉM	635066	Sim	-6,7167	-35,5000	150	GURINHÉM	AESA-PB	AESA-PB	-	Externa
MAMANGUAPE/ASPLAN	635117	Sim	-6,5611	-35,1350	0	MAMANGUAPE	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Camaratuba	Interna
DUAS ESTRADAS	635121	Sim	-6,6897	-35,4197	0	DUAS ESTRADAS	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Camaratuba	Externa
PIRPIRITUBA	635124	Sim	-6,7811	-35,4947	0	PIRPIRITUBA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Externa
RIO TINTO	635127	Sim	-6,8100	-35,0747	0	RIO TINTO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Interna
CAPIM	635129	Sim	-6,9228	-35,1731	0	CAPIM	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Interna
CANGUARETAMA_Cunhau	635131	Sim	-6,3140	-35,0440	24	CANGUARETAMA	CEMADEN	CEMADEN	-	Externa
GOIANINHA_Rua Tabelião Antonio	635132	Sim	-6,2620	-35,2100	14	GOIANINHA	CEMADEN	CEMADEN	-	Externa
GUARABIRA	635136	Sim	-6,8453	-35,4964	0	GUARABIRA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Externa
JACARAÚ	635137	Sim	-6,6136	-35,2917	0	JACARAÚ	AESA-PB	AESA-PB	-	Externa
MAMANGUAPE	635138	Sim	-6,8356	-35,1214	0	MAMANGUAPE	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Mamanguape	Interna
MATARACA	635140	Sim	-6,6014	-35,0536	0	MATARACA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Camaratuba	Interna
SANTA RITA	734001	Sim	-7,1406	-34,9828	16	SANTA RITA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
JOÃO PESSOA/DFAARA	734002	Sim	-7,0833	-34,8333	5	JOÃO PESSOA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
JOÃO PESSOA	734006	Sim	-7,1000	-34,8667	44	JOÃO PESSOA	INMET	INMET	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
ALHANDRA	734008	Sim	-7,4256	-34,9106	49	ALHANDRA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Abiaí	Interna
BAYEUX	734036	Sim	-7,1336	-34,9383	0	BAYEUX	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
JOÃO PESSOA/MARES	734037	Sim	-7,1558	-34,9089	0	JOÃO PESSOA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
JOÃO PESSOA/MANGABEIRA	734038	Sim	-7,1972	-34,8131	0	JOÃO PESSOA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna

Nome	Código	Operando	Latitude	Longitude	Altitude	Município	Responsável	Operadora	Bacia	Area do SAPP
CONDE/AÇ.GRAMAMEMAMUABA	734040	Sim	-7,2531	-34,9297	0	CONDE	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Interna
PITIMBU	734041	Sim	-7,4544	-34,8369	0	PITIMBU	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Abiaí	Interna
CAAPORÃ	734043	Sim	-7,5156	-34,9172	0	CAAPORÃ	AESA-PB	AESA-PB	-	Externa
MULUNGU	735009	Sim	-7,0294	-35,4681	100	MULUNGU	ANA	CPRM	SBH do Rio Mamanguape	Externa
CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	735019	Sim	-7,1408	-35,0911	20	CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
PONTE DA BATALHA	735036	Sim	-7,1300	-35,0475	18	SANTA TERESINHA	ANA	CPRM	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
MOGEIRO	735164	Sim	-7,3075	-35,4764	118	MOGEIRO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Externa
MARI	735190	Sim	-7,0536	-35,3200	0	MARI	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Externa
GURINHÉM	735191	Sim	-7,1261	-35,4250	0	GURINHÉM	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Externa
SÃO MIGUEL DE TAIPU	735196	Sim	-7,2503	-35,2089	0	SÃO MIGUEL DE TAIPU	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Interna
SALGADO DE SÃO FÉLIX	735201	Sim	-7,3558	-35,4344	0	SALGADO DE SÃO FÉLIX	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Baixo Rio Paraíba	Externa
PEDRAS DE FOGO	735203	Sim	-7,4014	-35,1175	0	PEDRAS DE FOGO	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Rio Gramame	Interna
NATUBA	735205	Sim	-7,6414	-35,5533	0	NATUBA	AESA-PB	AESA-PB	SBH do Médio Rio Paraíba	Externa

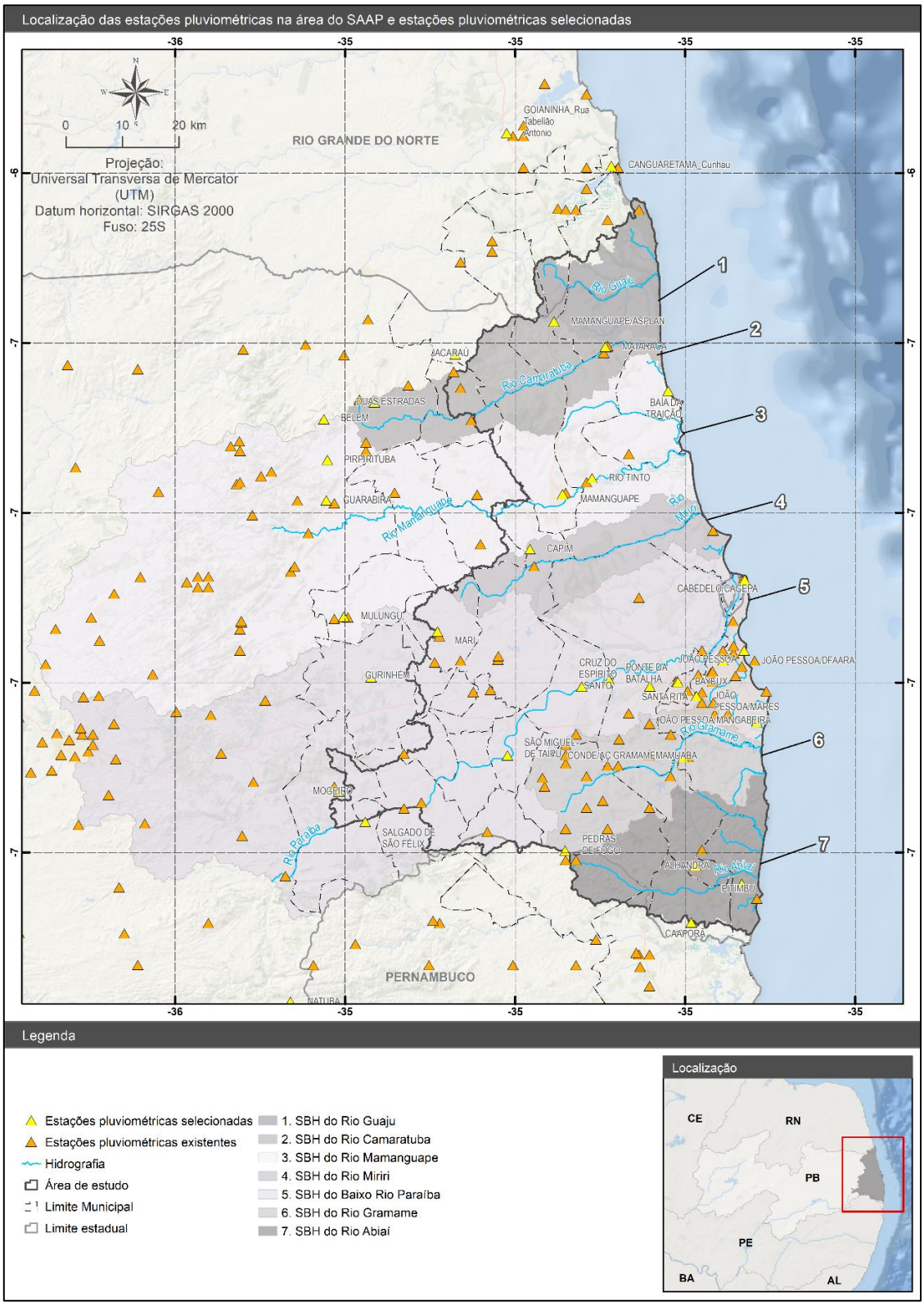


Figura 2.29 – Localização das estações pluviométricas na área do SAPP e estações pluviométricas selecionadas.

O Quadro 2.19 apresenta o diagrama de Gantt com a disponibilidade temporal dos dados de precipitação das estações pluviométricas selecionadas, onde pode-se visualizar o número de meses completos de cada ano. Percebe-se que existem falhas nas estações, principalmente no período compreendido entre 1994 e 1998 e no período entre 2018 e 2022. Para garantia da qualidade dos dados foi realizada uma análise de consistência, seguida pelo preenchimento de falhas e extensão das séries de dados mensais.

Para o preenchimento das falhas e extensão das séries foi utilizado o método da ponderação regional por correlação em dados mensais. Esse método consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com dados a serem preenchidos ou estendidos (posto Y) e cada um dos postos vizinhos (postos X_i, i = 1, 2., N-1). Para cada mês do ano determina-se o correspondente vetor de correlação, baseado nos postos vizinho, compostos por N-1 valores determinados pela respectiva correlação linear (r_i) entre a série do posto Y com as correspondentes séries dos postos X_i. Obtêm-se, portanto, 12 vetores de correlação, um para cada mês do ano, de forma a levar em consideração os eventuais efeitos de sazonalidade da série em análise. Para um mês específico qualquer, o método é representado pela Equação 1.

$$y = \frac{s_y}{N-1}\left[r_1\frac{x_1 - \bar{x}_1}{s_{x_1}} + r_2\frac{x_2 - \bar{x}_2}{s_{x_2}} + \cdots + r_{N-1}\frac{x_{N-1} - \bar{x}_{N-1}}{s_{x_{N-1}}}\right] + \bar{y} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde, y é o total mensal precipitado estimado (preenchido ou estendido) para o posto Y, no referido mês; $\bar{y}$ é o total médio precipitado na estação Y, no mês em referência, correspondente ao período comum de observação; s_y é o desvio padrão do total precipitado na estação Y, no mês em referência, correspondente ao período comum de observação; x_i é o total mensal observado na estação X_i do grupo homogêneo, no mês em que o total de precipitação na estação Y deve ser preenchido ou estendido; $\bar{x}_i$ é o total médio precipitado na estação X_i, no mês em referência, correspondente ao período comum de observação; s_{x_i} é o desvio padrão do total precipitado na estação X_i no mês em referência, correspondente ao período comum de observação; e r_i é a correlação linear entre a série de total precipitado na estação Y e a correspondente série na estação X_i, considerando o período comum de observações no mês em referência.

Para a seleção das estações a serem utilizadas no preenchimento em cada época, o método calcula a matriz de distâncias entre as estações com base em suas coordenadas e uma matriz de correlação entre as estações. Com essas duas matrizes calcula-se uma matriz de índices diretamente proporcionais a correlação e inversamente proporcional à distância, selecionando como estações de apoio para o preenchimento das falhas as estações com os índices mais elevados.

As séries históricas de precipitação dos 34 postos pluviométricos selecionados são apresentadas no Anexo IV. O Quadro 2.20 apresenta alguns parâmetros estatísticos das séries como a precipitação total média anual, a precipitação total média do período seco, a precipitação total média do período úmido, o desvio padrão anual e o coeficiente de variação (CV) anual. O CV é uma medida da dispersão (ou variabilidade) de uma série de dados em relação à sua média. Para sua estimativa foi utilizado o total anual precipitado medido em cada estação pluviométrica e correlacionado com a média do período (1994-2022). Quanto menor for o seu valor, mais homogêneos são os dados, ou seja, menos variações interanuais são observadas. Apresenta-se uma comparação dos resultados entre as séries preenchidas e as séries originais da AESA no Anexo V.

Quadro 2.19 – Diagrama de Gantt com a disponibilidade temporal dos dados das estações pluviométricas selecionadas.

Código	Nome	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
634000	BAÍA DA TRAIÇÃO	0	7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
634002	CABEDELO/CAGEPA	0	0	0	0	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	12	12
635066	BELÉM	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0
635117	MAMANGUAPE/ASPLAN	0	6	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
635121	DUAS ESTRADAS	0	0	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	0	0	0
635124	PIRPIRITUBA	0	0	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	8	12	12	12	12	12	11	0	0	0	0
635127	RIO TINTO	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
635129	CAPIM	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	0	0	0	0
635131	CANGUARETAMA_Cunhau	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	0	0	0	0
635132	GOIANINHA_Rua Tabelião Antonio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	7	0	0	0	0
635136	GUARABIRA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	7	11	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	5	0	0	0	0
635137	JACARAÚ	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0
635138	MAMANGUAPE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
635140	MATARACA	0	0	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734001	SANTA RITA	0	0	2	0	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734002	JOÃO PESSOA/DFAARA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734006	JOÃO PESSOA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	0	0	0
734008	ALHANDRA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734036	BAYEUX	0	0	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734037	JOÃO PESSOA/MARES	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734038	JOÃO PESSOA/MANGABEIRA	0	0	3	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734040	CONDE/AÇ.GRAMAMEMAMUABA	0	7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734041	PITIMBU	0	0	9	6	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
734043	CAAPORÃ	0	0	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
735009	MULUNGU	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9
735019	CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	0	3	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
735036	PONTE DA BATALHA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12
735164	MOGEIRO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	11	10	11	0	0	0	0
735190	MARI	0	0	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0
735191	GURINHÉM	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	9	0	0	0	0

Código	Nome	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
735196	SÃO MIGUEL DE TAIPU	12	12	2	12	12	12	12	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0
735201	SALGADO DE SÃO FÉLIX	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	0	0	0	0
735203	PEDRAS DE FOGO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
735205	NATUBA	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	0	0	0	0

Quadro 2.20 – Parâmetros estatísticos das séries mensais de precipitação preenchidas (1994 a 2022).

Código	Nome	Média Mensal (mm)												Total Médio Anual (mm)	Total Médio do período (mm)		Desvio Padrão	CV (%)
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		Seco	Chuvoso		
634000	BAÍA DA TRAIÇÃO	90,0	96,0	194,1	238,9	249,9	327,4	251,4	123,4	67,5	20,8	19,9	37,5	1.716,9	331,7	1.385,2	434,37	25%
634002	CABEDELO/CAGEPA	72,4	95,4	144,1	218,0	277,6	338,5	250,9	124,0	64,9	21,0	15,7	29,7	1.652,1	299,1	1.353,0	451,42	27%
635066	BELÉM	72,3	73,3	110,9	102,1	123,2	145,4	131,7	62,4	33,4	7,7	11,4	28,1	901,8	226,2	675,7	289,98	32%
635117	MAMANGUAPE/ASPLAN	96,2	121,5	169,1	180,3	196,0	244,2	207,3	93,2	66,6	23,9	24,8	46,8	1.469,8	379,7	1.090,0	353,01	24%
635121	DUAS ESTRADAS	62,5	77,4	104,7	113,4	125,4	148,1	141,7	58,0	31,4	9,4	8,4	21,2	901,7	210,4	691,3	247,61	27%
635124	PIRPIRITUBA	79,5	83,1	122,3	124,7	138,6	155,4	146,4	65,9	38,7	15,9	14,2	33,9	1.018,6	265,4	753,2	308,33	30%
635127	RIO TINTO	85,7	111,8	163,8	177,5	199,7	252,1	185,9	85,4	51,6	20,9	19,5	43,2	1.397,0	332,7	1.064,2	374,68	27%
635129	CAPIM	67,3	75,7	115,7	109,6	133,1	162,9	139,5	61,7	31,1	11,4	15,4	34,9	958,1	235,8	722,4	289,76	30%
635131	CANGUARETAMA_Cunhau	85,6	97,0	142,3	150,2	174,9	205,3	208,5	118,1	60,8	28,2	28,0	48,0	1.347,1	347,7	999,3	310,11	23%
635132	GOIANINHA_Rua Tabelião Antonio	94,7	105,5	150,7	152,1	158,3	193,2	189,6	106,9	54,9	22,2	23,4	40,3	1.291,8	341,0	950,8	332,74	26%
635136	GUARABIRA	83,6	90,7	123,2	126,4	141,5	169,0	159,6	78,7	37,4	17,3	16,8	40,0	1.084,3	285,9	798,4	314,48	29%
635137	JACARAÚ	84,8	81,8	116,0	144,8	152,0	189,3	170,6	72,6	42,3	15,7	14,9	30,3	1.115,0	269,7	845,3	279,96	25%
635138	MAMANGUAPE	80,4	96,9	146,7	149,2	177,1	223,6	176,5	77,0	44,5	17,7	16,0	36,0	1.241,6	291,4	950,1	373,93	30%
635140	MATARACA	97,8	115,7	169,5	178,3	208,1	246,0	208,1	92,1	54,9	21,3	17,5	35,6	1.444,9	342,8	1.102,1	382,41	26%
734001	SANTA RITA	82,2	98,7	140,1	171,6	209,4	249,3	178,1	91,3	54,5	24,0	19,4	37,3	1.356,0	316,2	1.039,8	376,25	28%
734002	JOÃO PESSOA/DFAARA	91,0	115,9	177,6	234,4	321,4	366,4	281,4	140,4	73,6	29,2	23,9	38,0	1.893,1	371,5	1.521,5	472,58	25%

Código	Nome	Média Mensal (mm)												Total Médio Anual (mm)	Total Médio do período (mm)		Desvio Padrão	CV (%)
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		Seco	Chuvoso		
734006	JOÃO PESSOA	92,3	108,6	173,5	237,3	313,5	365,1	274,9	142,9	74,4	29,5	24,1	38,1	1.874,2	367,0	1.507,2	463,86	25%
734008	ALHANDRA	94,3	122,9	183,6	221,6	292,6	349,6	265,1	152,3	81,6	37,5	27,4	55,6	1.884,1	419,3	1.464,9	449,00	24%
734036	BAYEUX	91,9	107,3	146,6	205,3	243,1	278,2	207,5	111,8	62,3	30,7	22,0	41,4	1.548,1	355,6	1.192,4	371,23	24%
734037	JOÃO PESSOA/MARES	102,9	115,3	161,1	216,5	266,2	312,5	233,7	123,5	71,2	28,7	25,3	44,9	1.701,7	388,3	1.313,5	407,13	24%
734038	JOÃO PESSOA/MANGABEIRA	81,0	113,9	163,8	207,7	297,3	359,6	264,0	138,3	69,8	24,5	20,6	36,2	1.776,8	346,0	1.430,8	458,15	26%
734040	CONDE/AÇ.GRAMAMEMAMUABA	86,1	105,3	144,3	176,7	217,9	288,6	219,5	114,0	66,2	25,2	20,0	39,6	1.503,4	342,4	1.161,0	434,37	29%
734041	PITIMBU	77,9	94,1	157,4	234,5	288,4	335,7	271,8	122,1	63,1	27,2	20,9	46,2	1.739,4	329,6	1.409,8	425,60	24%
734043	CAAPORÃ	100,9	121,5	168,5	225,5	269,6	315,5	255,9	132,5	72,7	35,8	29,0	48,5	1.775,8	408,4	1.367,4	424,08	24%
735009	MULUNGU	67,7	71,0	100,8	95,5	128,9	139,1	118,9	54,0	25,2	8,9	10,0	24,9	844,7	207,5	637,2	305,96	36%
735019	CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	78,1	90,0	132,1	145,5	194,3	228,2	163,2	82,9	41,1	17,9	14,4	30,2	1.217,8	271,7	946,1	312,71	26%
735036	PONTE DA BATALHA	77,9	95,9	130,0	151,0	184,0	253,8	210,6	91,7	49,6	19,4	14,8	35,8	1.314,6	293,4	1.021,2	392,41	30%
735164	MOGEIRO	57,2	53,1	72,4	84,8	96,0	117,1	96,8	49,0	23,6	7,8	11,5	21,8	691,1	175,1	516,1	225,56	33%
735190	MARI	74,9	86,0	102,6	109,4	140,5	172,7	139,2	73,5	37,9	15,7	12,7	30,1	995,1	257,2	737,9	275,57	28%
735191	GURINHÉM	64,6	63,3	89,6	103,4	118,5	138,5	111,3	50,3	26,0	8,6	9,1	23,3	806,6	195,0	611,6	245,44	30%
735196	SÃO MIGUEL DE TAIPU	53,4	74,4	85,7	104,8	127,5	169,1	129,0	58,0	29,9	6,5	9,7	24,9	872,9	198,7	674,1	304,60	35%
735201	SALGADO DE SÃO FÉLIX	54,4	58,5	74,6	92,2	96,7	115,6	93,9	35,8	15,5	6,1	9,0	21,2	673,6	164,8	508,8	214,35	32%
735203	PEDRAS DE FOGO	81,0	98,3	115,3	165,8	192,8	256,0	207,9	107,3	53,1	24,5	22,1	41,1	1.365,2	320,1	1.045,1	384,23	28%
735205	NATUBA	61,5	75,4	105,1	122,3	147,4	181,8	157,8	88,9	49,2	23,4	24,8	33,5	1.071,2	268,0	803,3	283,00	26%

2.2.5.2 Caracterização da precipitação

Analisando-se os dados mensais das estações pluviométricas selecionadas, identifica-se que o período chuvoso ocorre entre os meses de março e agosto e o período seco entre os meses de setembro e fevereiro. Durante os meses de março a agosto, as precipitações são mais frequentes e intensas, sendo junho o mês em que ocorrem os maiores índices pluviométricos.

Da Figura 2.30 até Figura 2.36 são apresentados os dados pluviométricos mensais de estações selecionadas, representativas do regime pluviométrico de cada bacia hidrográfica da área de estudo. Para a bacia do Rio Guaju, utilizou-se como estação representativa das precipitações a Mamanguape/Asplan (635117); para a bacia do Rio Camaratuba, a estação Mataraca (635140); para a bacia do Rio Mamanguape, a estação Mamanguape (635138); para a bacia do Rio Miriri, a estação Capim (635129); para a bacia do Baixo Paraíba, a estação Ponte da Batalha (735036); para bacia do rio Gramame, a estação Conde/Aç.GramameMamuaba (734040); e para a bacia do Rio Abiaí, a estação Alhandra (734008).

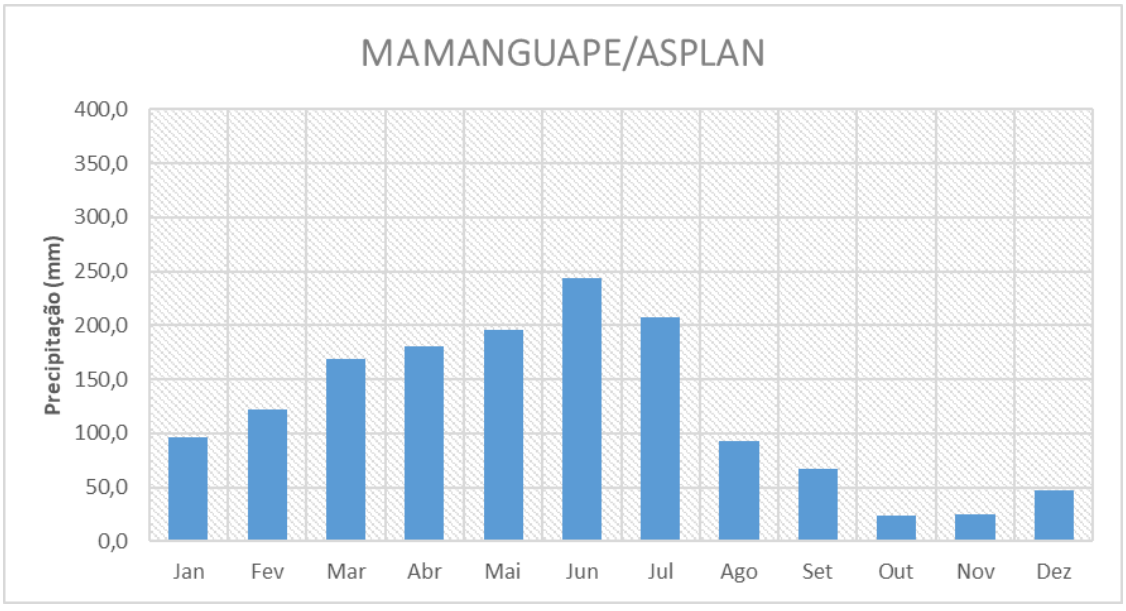


Figura 2.30 – Média mensal de precipitação na estação Mamanguape/Asplan (635117), localizada próxima a bacia do rio Guaju.

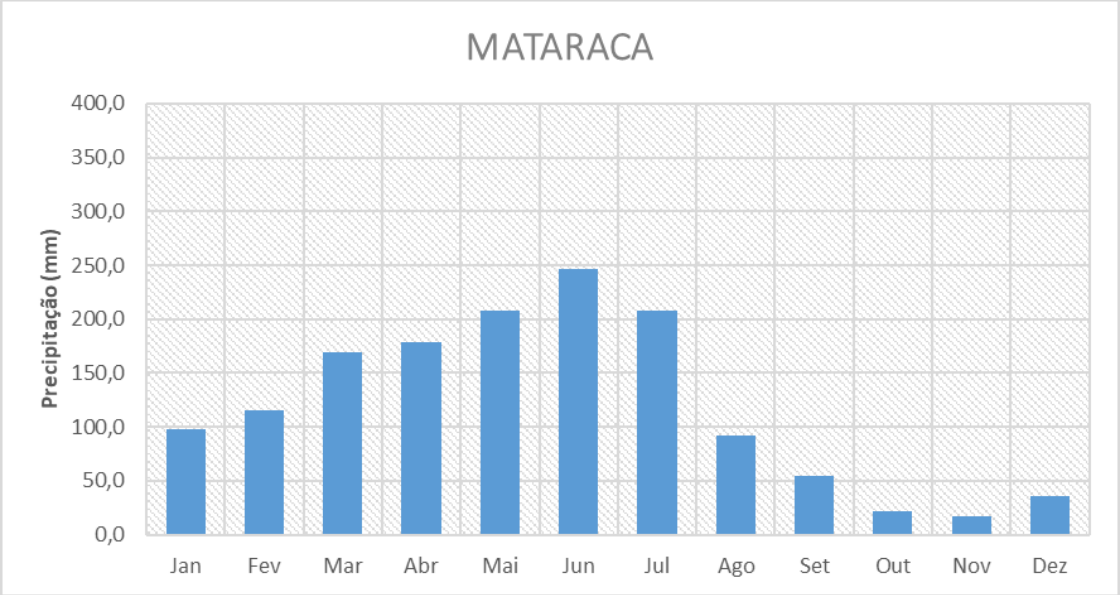


Figura 2.31 – Média mensal de precipitação na estação Mataraca (635140), localizada na bacia do Rio Camaratuba.

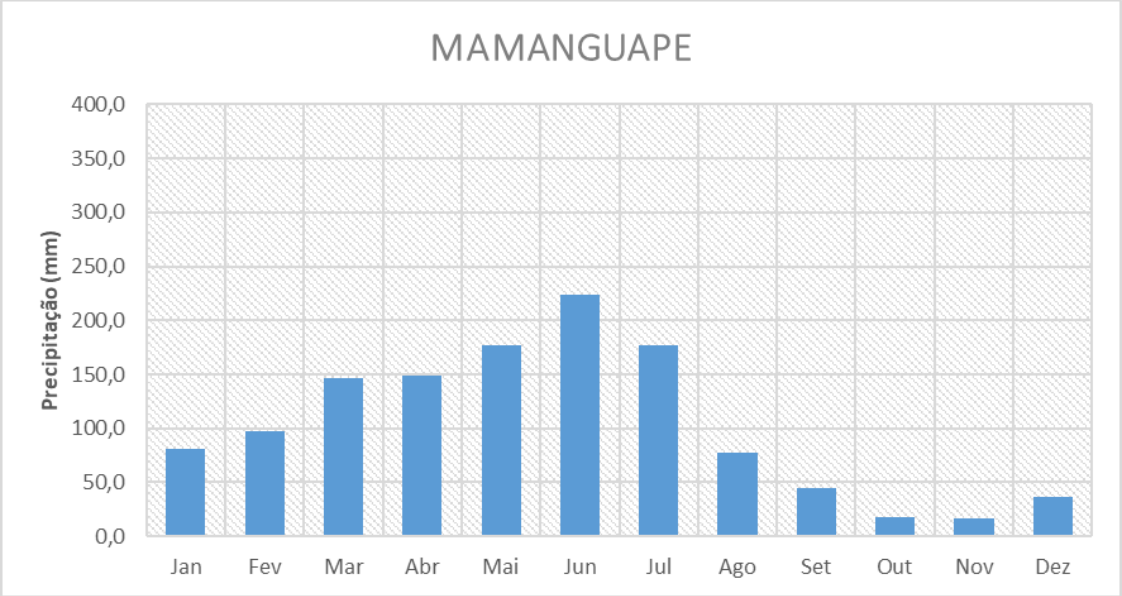


Figura 2.32 – Média mensal de precipitação na estação Mamanguape (635138), localizada na bacia do Rio Mamanguape.

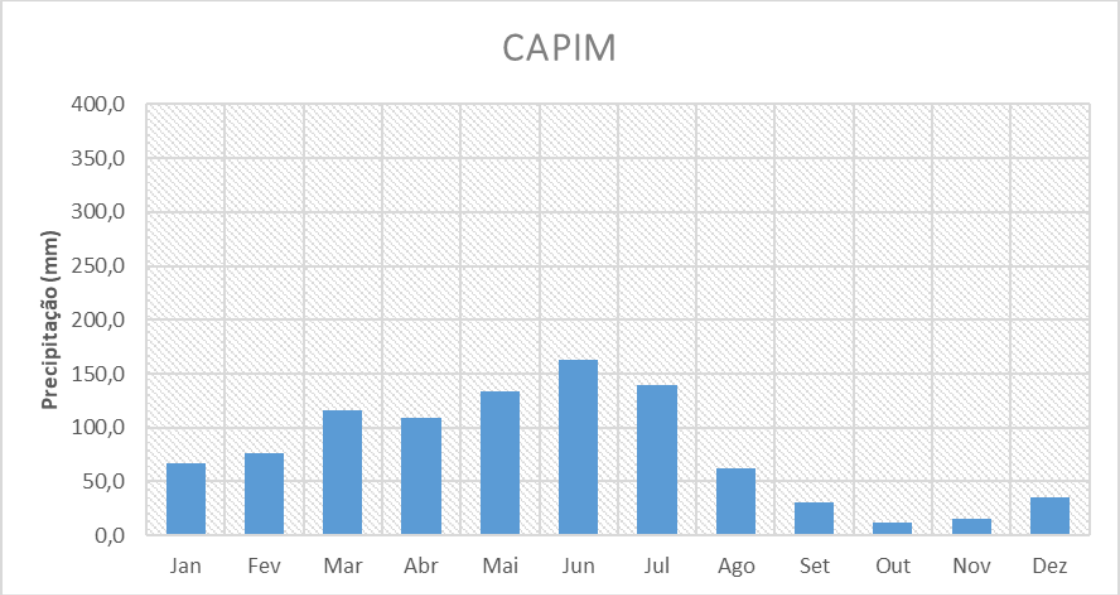


Figura 2.33 – Média mensal de precipitação na estação Capim (635129), localizada na bacia do Rio Miriri.

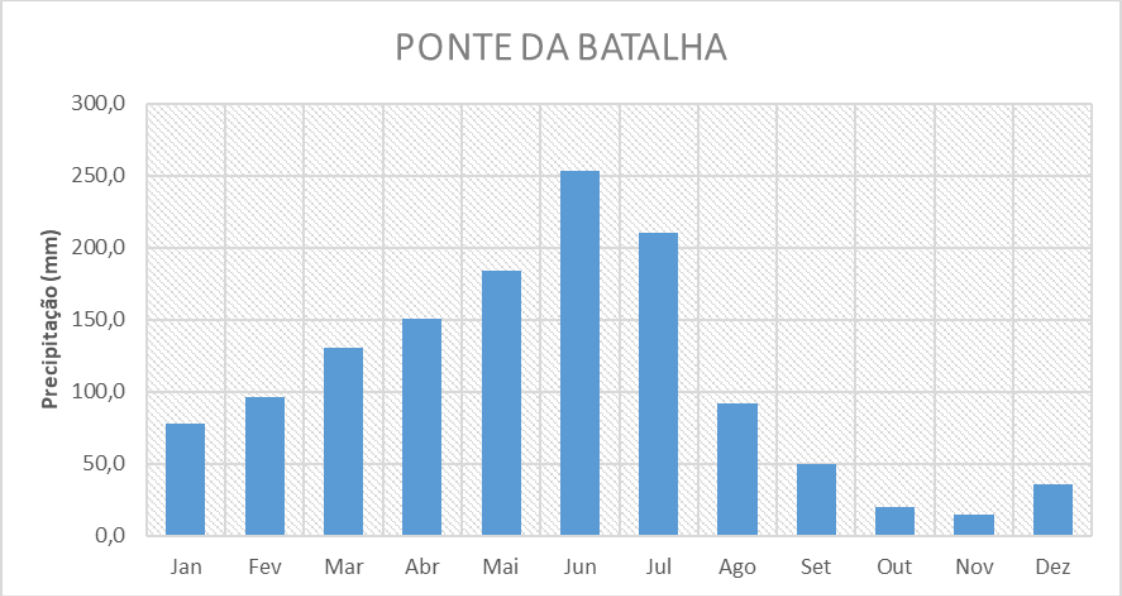


Figura 2.34 – Média mensal de precipitação na estação Ponte da Batalha (735036), localizada na bacia do Baixo Rio Paraíba.

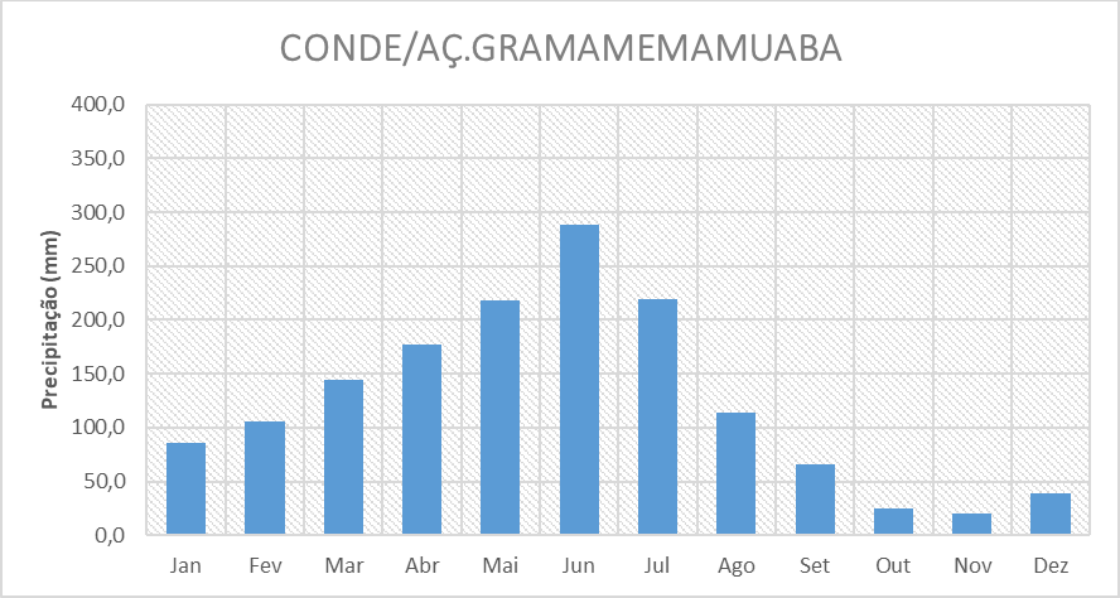


Figura 2.35 – Média mensal de precipitação na estação Conde/Aç.GramameMamuaba (734040), localizada na bacia do Rio Gramame.

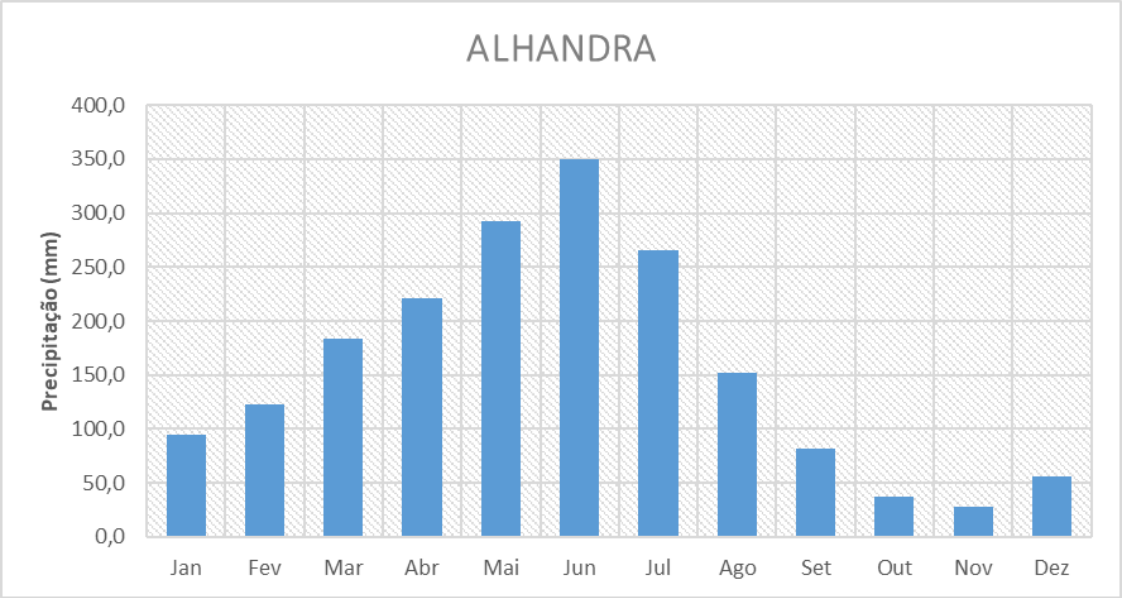


Figura 2.36 – Média mensal de precipitação na estação Alhandra (734008), localizada na bacia do Rio Abiaí.

Percebe-se que as precipitações são maiores nas bacias dos Rios Gramame e Abiaí, com volumes próximos ou superiores a 300 mm no mês mais chuvoso (junho). Nas bacias dos rios Guaju, Camaratuba, Mamanguape e Baixo Paraíba, em junho, as precipitações alcançam em média 250 mm, já na bacia do rio Miriri, registram-se volumes de precipitação inferiores a 200 mm no mês de junho. Outubro e novembro são

os meses mais secos, sendo que nesses meses a precipitação acumulada média não supera os 50 mm em nenhuma bacia da área do SAPP.

Na bacia do Baixo Paraíba, devido a grande quantidade de estações pluviométricas, pode-se comparar o comportamento anual das precipitações de oeste para leste. Na Figura 2.37 são apresentadas as estações Mogeiro (735164), São Miguel de Taipu (735196), Ponte da Batalha (735036), Santa Rita (734001), Bayeux (734036) e João Pessoa (734006) seguindo a ordem de oeste para leste, sendo Mogeiro a estação mais a oeste da bacia e João Pessoa a estação mais a leste. Percebe-se que a precipitação, principalmente na estação chuvosa, aumenta de oeste para leste, sendo maior no litoral do que no interior da bacia. Na estação seca essa diferença diminui, apesar de ainda ser maior no litoral do que no interior.

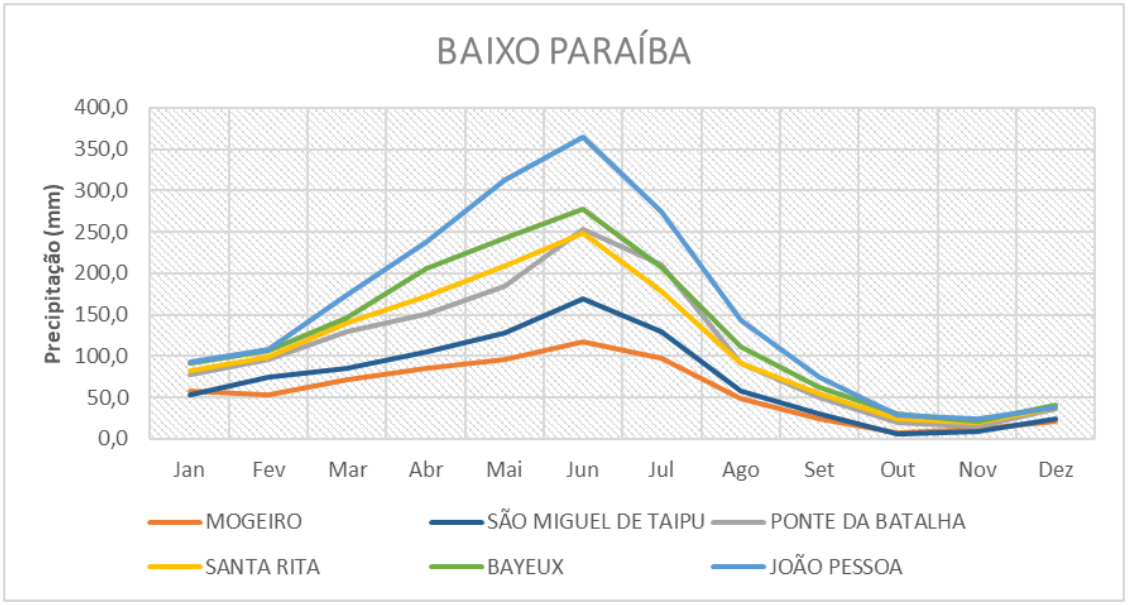


Figura 2.37 – Média mensal de precipitação nas estações localizadas na bacia do Baixo Paraíba.

Analisando-se os dados em escala anual, o Quadro 2.21 apresenta uma comparação entre a precipitação total registrada em cada ano em relação à média do período (1994 a 2022) para cada estação. É possível observar que os anos de 1998, 1999, 2001, 2006, 2010, 2012 e 2021 foram anos mais secos, com totais precipitados no ano abaixo da média do período. Já os anos de 1994, 2000, 2004, 2009, 2011 e 2022 foram anos mais úmidos. O Quadro 2.21 evidencia ainda um número maior de anos mais secos no

período recente, com precipitações abaixo da média em sete anos consecutivos entre 2012 e 2018, com os anos de 2013 e 2017 um pouco mais úmido do que os demais.

Quadro 2.21 – Anomalias de precipitação anual em relação à média do período (1994-2022).

Código	Nome	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
634000	BAÍA DA TRAIÇÃO	41%	-9%	27%	-21%	-24%	-45%	44%	-31%	-3%	28%	41%	-9%	-32%	4%	14%	30%	-22%	34%	-22%	16%	4%	-11%	-30%	0%	-19%	-6%	13%	-24%	13%
634002	CABEDELO/CAGEPA	40%	-16%	8%	-20%	-36%	-52%	51%	-44%	8%	21%	16%	-14%	-38%	11%	14%	55%	-14%	17%	-19%	8%	-14%	-32%	-11%	13%	-17%	12%	5%	11%	36%
635066	BELÉM	40%	-16%	9%	10%	-27%	-16%	55%	-49%	15%	-2%	75%	-1%	-44%	5%	6%	49%	-41%	51%	-51%	-27%	-9%	-1%	-10%	-16%	-14%	6%	0%	-28%	33%
635117	MAMANGUAPE/ASPLAN	38%	-22%	-7%	-19%	-18%	-35%	51%	-28%	3%	9%	30%	-7%	-26%	2%	8%	29%	-26%	43%	-35%	17%	-4%	-1%	-17%	1%	-6%	3%	10%	-25%	33%
635121	DUAS ESTRADAS	43%	-10%	2%	-12%	-24%	-34%	44%	-36%	14%	12%	39%	-21%	-23%	6%	11%	61%	-41%	41%	-37%	-16%	-6%	-1%	0%	10%	-19%	-6%	0%	-29%	32%
635124	PIRPIRITUBA	35%	3%	-7%	-3%	-45%	-22%	49%	-46%	-1%	-49%	41%	2%	-27%	17%	26%	58%	-38%	59%	-35%	-7%	2%	-1%	1%	-16%	-8%	5%	0%	-26%	31%
635127	RIO TINTO	37%	-14%	-11%	-8%	-30%	-43%	56%	-39%	2%	16%	16%	-5%	-28%	11%	16%	47%	-25%	43%	-31%	-6%	-8%	-4%	-9%	-2%	-9%	27%	-7%	-31%	39%
635129	CAPIM	44%	-18%	-17%	-2%	-37%	-31%	65%	-48%	-3%	10%	42%	-9%	-32%	13%	22%	43%	-53%	50%	-32%	-5%	-16%	-1%	-8%	-4%	-6%	14%	6%	-21%	35%
635131	CANGUARETAMA_Cunhau	34%	-8%	6%	-3%	-29%	-30%	53%	-17%	2%	1%	53%	-11%	-22%	10%	16%	21%	-24%	35%	-24%	-5%	-12%	-15%	-10%	-7%	-24%	4%	3%	-19%	24%
635132	GOIANINHA_Rua Tabelião Antonio	42%	-16%	-14%	1%	-41%	-21%	60%	-22%	5%	-6%	48%	0%	-22%	17%	24%	28%	-37%	32%	-34%	-14%	5%	-16%	-9%	-20%	-6%	5%	4%	-19%	26%
635136	GUARABIRA	31%	19%	1%	-11%	-34%	-12%	71%	-15%	-5%	12%	69%	3%	-43%	-16%	14%	26%	-54%	34%	-24%	-14%	-15%	-15%	-11%	-16%	-15%	7%	5%	-24%	33%
635137	JACARAÚ	55%	-11%	-3%	-15%	-24%	-38%	36%	-38%	3%	9%	34%	-18%	-19%	10%	17%	42%	-30%	38%	-35%	-6%	-6%	-3%	-11%	1%	-7%	8%	3%	-24%	31%
635138	MAMANGUAPE	64%	-18%	-6%	-8%	-30%	-41%	55%	-52%	-6%	24%	27%	2%	-26%	24%	7%	54%	-27%	33%	-28%	0%	-20%	-9%	-11%	-4%	-22%	14%	-7%	-32%	43%
635140	MATARACA	39%	-11%	-3%	-6%	-16%	-43%	41%	-26%	-10%	9%	47%	-19%	-36%	-25%	1%	11%	-36%	66%	-24%	15%	-11%	20%	-12%	11%	-3%	4%	6%	-19%	31%
734001	SANTA RITA	41%	-12%	11%	-14%	-38%	-33%	50%	-44%	4%	19%	-6%	-32%	-49%	17%	11%	42%	-32%	40%	-9%	15%	-8%	-12%	-2%	11%	-24%	8%	7%	-10%	49%
734002	JOÃO PESSOA/DFAARA	48%	-9%	17%	-13%	-33%	-49%	29%	-38%	5%	8%	19%	2%	-41%	6%	18%	35%	-30%	24%	-13%	14%	-21%	-15%	-17%	10%	-19%	13%	12%	-3%	40%
734006	JOÃO PESSOA	45%	-10%	25%	-16%	-32%	-46%	30%	-37%	7%	15%	19%	4%	-37%	7%	20%	36%	-30%	29%	-11%	-2%	-21%	-21%	-16%	9%	-17%	14%	5%	-6%	36%
734008	ALHANDRA	51%	-9%	15%	-11%	-32%	-36%	51%	-38%	-8%	5%	19%	-3%	-21%	4%	6%	26%	-29%	41%	-20%	16%	-5%	-10%	-19%	6%	-20%	8%	-6%	-6%	24%
734036	BAYEUX	38%	-13%	4%	-19%	-31%	-38%	33%	-45%	-12%	9%	4%	-16%	-37%	22%	21%	17%	-24%	43%	-10%	0%	-10%	-7%	5%	24%	-15%	9%	11%	-7%	43%
734037	JOÃO PESSOA/MARES	36%	-15%	13%	-15%	-29%	-36%	61%	-34%	-1%	9%	2%	-8%	-25%	20%	18%	23%	-26%	34%	-15%	5%	-14%	-20%	-19%	9%	-16%	19%	-4%	-7%	35%
734038	JOÃO PESSOA/MANGABEIRA	39%	-14%	20%	-22%	-26%	-44%	51%	-37%	14%	31%	21%	-6%	-18%	29%	30%	16%	-46%	19%	-14%	-9%	-24%	-26%	-22%	15%	-7%	12%	1%	-6%	23%
734040	CONDE/AÇ.GRAMAMEMAMUABA	38%	-16%	0%	-21%	-65%	-35%	63%	-39%	-15%	13%	22%	-16%	-30%	15%	18%	23%	-28%	44%	-11%	14%	-11%	-17%	-6%	26%	-12%	14%	18%	-24%	41%
734041	PITIMBU	40%	-10%	9%	-23%	-43%	-41%	51%	-25%	-2%	13%	21%	-14%	-30%	-2%	-8%	31%	-31%	38%	-29%	1%	-17%	-1%	2%	14%	-6%	12%	24%	5%	22%
734043	CAAPORÃ	37%	-11%	5%	-25%	-48%	-41%	54%	-27%	-9%	11%	27%	-10%	-13%	7%	5%	30%	-29%	37%	-17%	18%	-14%	-4%	-9%	-5%	-13%	2%	12%	6%	24%
735009	MULUNGU	47%	15%	6%	-11%	-48%	-25%	51%	-39%	-20%	24%	94%	-13%	-47%	13%	3%	35%	-40%	81%	-17%	-12%	-13%	-17%	-16%	-10%	-15%	-9%	-3%	-50%	35%
735019	CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	42%	-18%	10%	5%	-36%	-38%	56%	-43%	-3%	21%	6%	-10%	-22%	8%	5%	27%	-44%	37%	-14%	6%	-14%	-9%	-3%	8%	-22%	11%	23%	-21%	33%
735036	PONTE DA BATALHA	5%	-24%	-22%	-29%	-43%	-38%	49%	-54%	-1%	31%	10%	-23%	-20%	14%	-2%	65%	-36%	46%	-5%	6%	-14%	-11%	-1%	19%	-3%	27%	30%	-19%	43%
735164	MOGEIRO	42%	-11%	32%	-9%	-50%	-48%	43%	-31%	-12%	1%	65%	9%	-28%	6%	12%	12%	-21%	93%	-19%	-12%	-8%	-40%	-10%	-10%	-26%	9%	10%	-25%	28%
735190	MARI	32%	-5%	6%	-12%	-39%	-27%	50%	-50%	-3%	42%	61%	-12%	-35%	5%	7%	26%	-38%	41%	-14%	3%	-5%	-22%	-10%	0%	-16%	6%	6%	-24%	26%
735191	GURINHÉM	37%	-24%	-6%	-9%	-51%	-27%	52%	-39%	-9%	6%	60%	-12%	-28%	-6%	15%	36%	-29%	81%	-8%	-1%	-19%	-28%	2%	3%	-11%	7%	7%	-25%	28%
735196	SÃO MIGUEL DE TAIPU	82%	-2%	6%	18%	-44%	-50%	59%	-40%	-23%	4%	20%	-17%	-30%	-4%	11%	34%	-37%	74%	-10%	17%	-24%	-22%	10%	-11%	-61%	13%	12%	-21%	33%
735201	SALGADO DE SÃO FÉLIX	47%	-8%	-3%	-16%	-62%	-40%	51%	-18%	-13%	-7%	44%	-15%	-27%	-5%	12%	28%	-17%	99%	-11%	11%	-1%	-21%	-6%	-28%	-7%	7%	8%	-29%	26%
735203	PEDRAS DE FOGO	63%	-10%	23%	-9%	-41%	-38%	55%	-25%	1%	18%	38%	-16%	-30%	4%	-1%	18%	-32%	65%	-9%	13%	-10%	-19%	-13%	-5%	-16%	10%	-10%	-29%	6%
735205	NATUBA	37%	-8%	16%	-13%	-45%	-39%	47%	-15%	5%	-9%	37%	-8%	-25%	16%	-13%	6%	11%	82%	-29%	-1%	-11%	-20%	-9%	-6%	-11%	2%	1%	-17%	17%

A seguir é apresentada uma comparação das precipitações médias mensais em três períodos distintos (1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022) em quatro estações pluviométricas diferentes. Essa avaliação considera as séries históricas de monitoramento pluviométrico dos extintos órgãos DNOCS e DNOS, além de dados da SUDENE, INMET e da AESA.

No Quadro 2.22 são apresentados as estações analisadas e o número de anos sem falhas nos períodos. Percebe-se que para o período 1964-1993, o número de anos com falhas é maior do que nos demais períodos, principalmente na estação Mamanguape e Santa Rita.

Quadro 2.22 – Estações pluviométricas utilizadas para a análise das precipitações em três períodos distintos (1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022).

Código	Nome da Estação	Operador	Anos sem falhas nos períodos		
			1934-1963	1964-1993	1994-2022
635044/ 635138	MAMANGUAPE	DNOCS/ AESA	27	15	29
734001 / 734001	SANTA RITA	SUDENE/ AESA	28	17	29
734003/ 734006	JOÃO PESSOA	DNOCS/ INMET	27	20	29
734007/ 734008	ALHANDRA	DNOS/ AESA	26	26	29

As figuras a seguir apresentam uma comparação da precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 nas estações Mamanguape (Figura 2.38), Santa Rita (Figura 2.39), João Pessoa (Figura 2.40) e Alhandra (Figura 2.41).

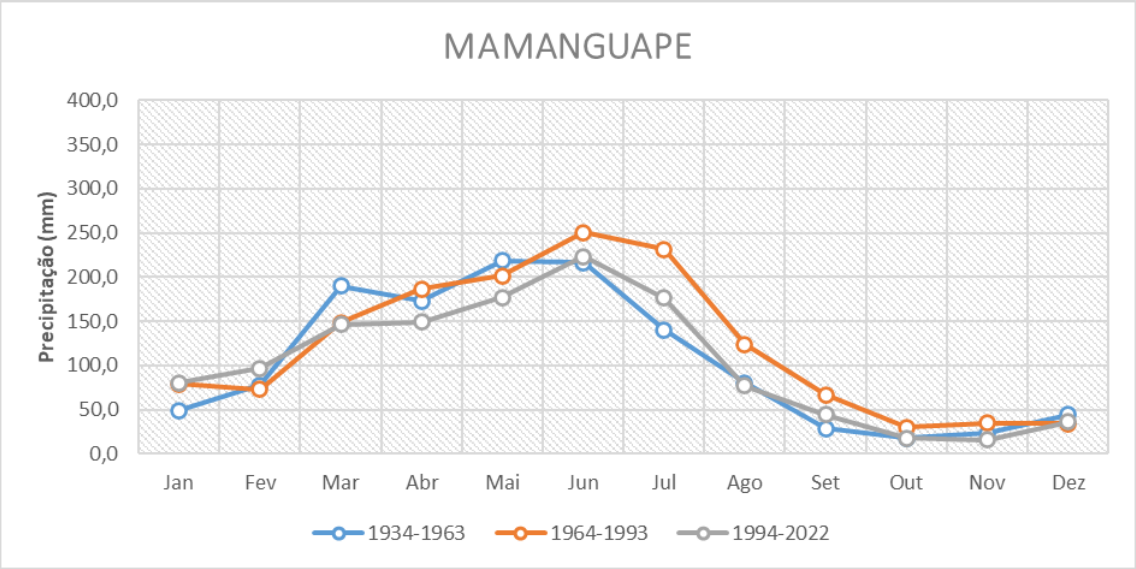


Figura 2.38 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação Mamanguape (635044/ 635138).

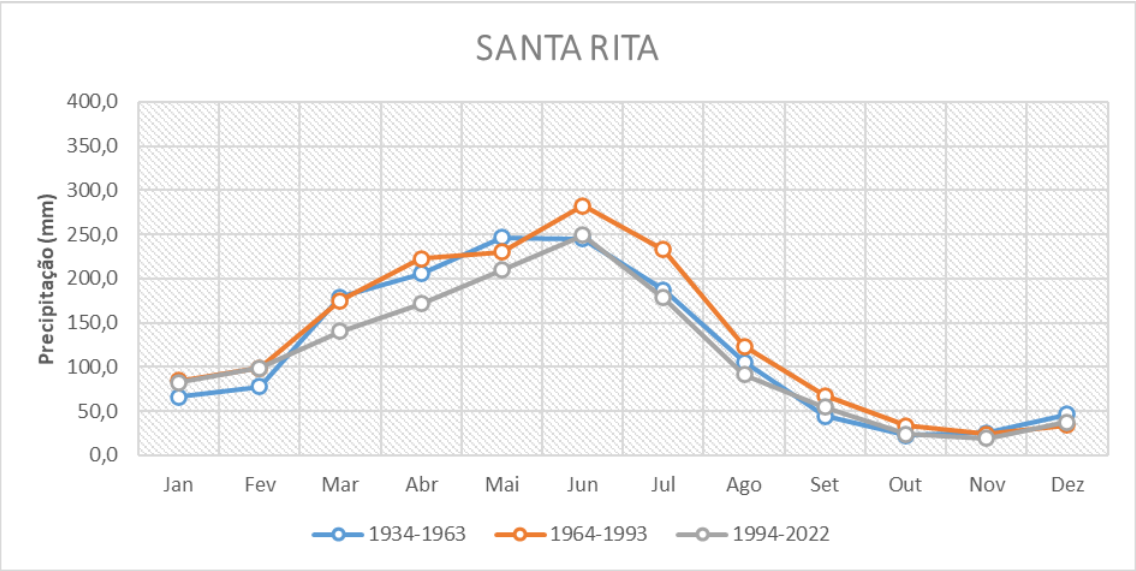


Figura 2.39 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação Santa Rita (734001).

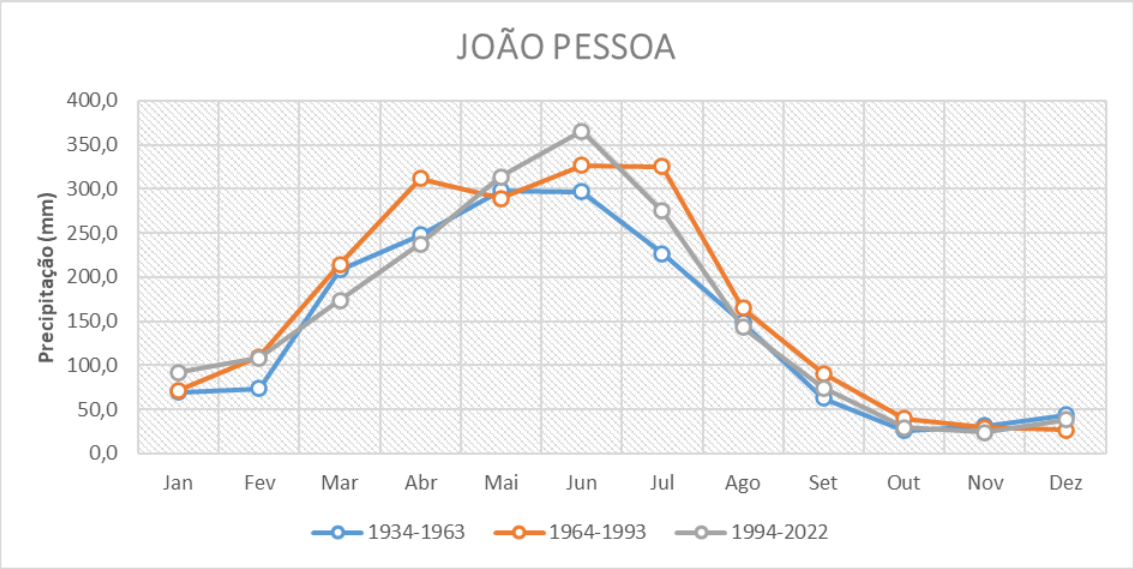


Figura 2.40 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação João Pessoa (734003/ 734006).

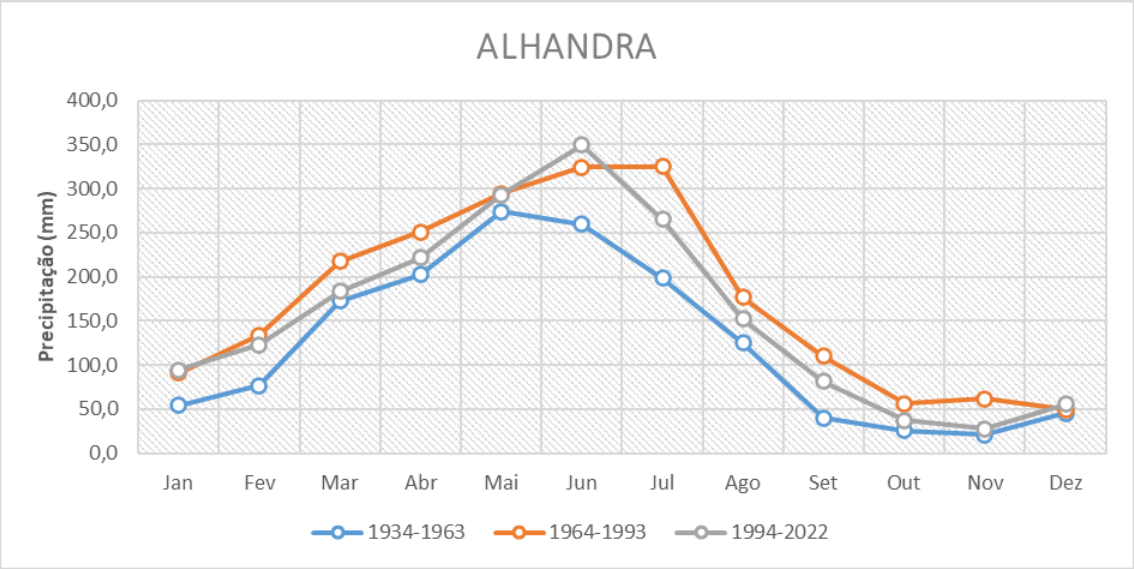


Figura 2.41 – Precipitação média mensal acumulada nos períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 na estação Alhandra (734007/ 734008).

Em todas as estações observa-se que, de forma geral, as precipitações médias do período 1964-1993 foram superiores às médias dos demais períodos. Nas estações João Pessoa e Alhandra, contudo, a média de junho (mês mais úmido) foi superior no período mais recente (1994-2022), podendo-se verificar um aumento das precipitações a cada período.

Em todas as estações, nos meses mais secos (outubro e novembro) não se observa diferenças significativas entre as precipitações médias de cada período. Com exceção da estação Alhandra, situada à sudeste da área de estudo, próxima ao litoral, onde as precipitações no período seco ocorrem com maior frequência e intensidade.

Na Figura 2.42 são apresentados os gráficos climatológicos do INMET para os períodos oficiais de referência 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020 na estação João Pessoa (código ANA 734006 ou código INMET 82798), sendo possível compará-los com os períodos 1934-1963, 1964-1993 e 1994-2022 analisados no presente estudo. Percebe-se um comportamento muito semelhante entre os dados de precipitação da estação João Pessoa analisados no presente estudo com os gráficos climatológicos do INMET. Isto porque apresentou o mês de junho sendo mais úmido no período mais recente e os demais meses sendo mais úmidos no período 1961-1990. Nos meses compreendidos no período seco não se observa diferenças significativas entre as precipitações médias de cada período.

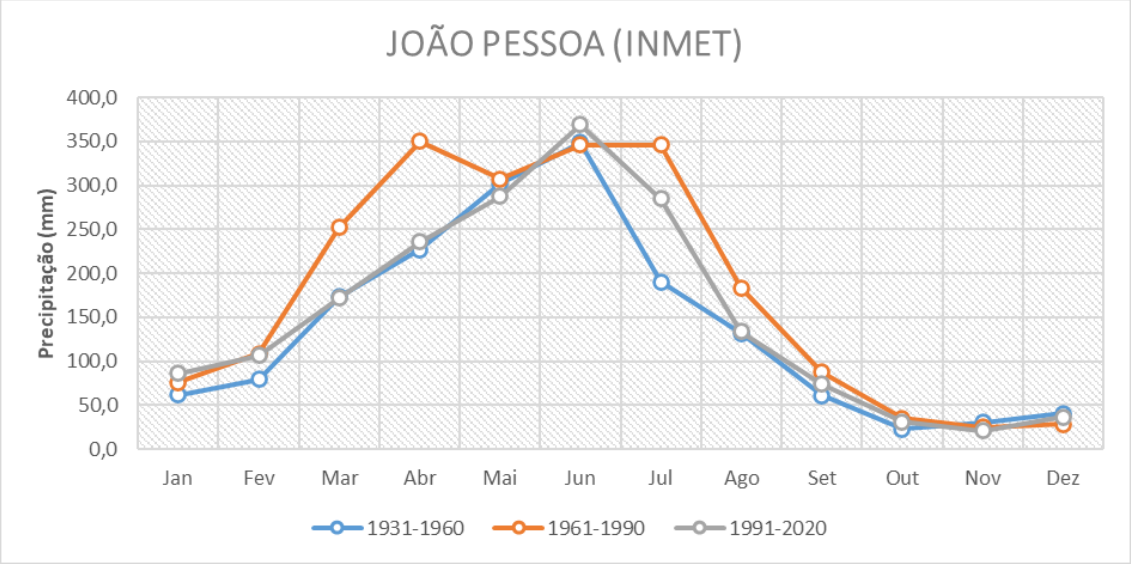


Figura 2.42 – Gráfico climatológico da precipitação média mensal dos períodos oficiais de referência do INMET.

2.2.5.3 Distribuição espacial das precipitações

Para visualizar a distribuição espacial das precipitações na área do SAPP, foram elaborados mapas de isoietas a partir dos dados de precipitação das 34 estações pluviométricas apresentadas no Quadro 2.20. Conforme exposto anteriormente, com

base na disponibilidade de dados de precipitação, definiu-se um intervalo de tempo como referência entre 1994 e 2022 para a área de interesse, totalizando 29 anos de observação em cada estação pluviométrica.

Foram elaborados os mapas de isoietas da precipitação total anual média (Figura 2.43), assim como mapas específicos para representar o período seco (Figura 2.44) e o período úmido (Figura 2.45). O mapa de isoietas do período seco destaca as áreas onde ocorrem menores precipitações, identificando regiões mais suscetíveis à escassez hídrica. Já o mapa de isoietas do período úmido destaca as áreas onde as precipitações são maiores, indicando as regiões com maior potencial para recarga de aquíferos, geração de escoamento superficial e formação de reservas hídricas. Essas informações são cruciais para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

A técnica de interpolação matemática utilizada na geração das isoietas foi o de Kriging, na qual os valores medidos circundantes são ponderados para derivar um valor previsto para um local não medido e criar um modelo *raster* contínuo a partir de dados pontuais de precipitação.

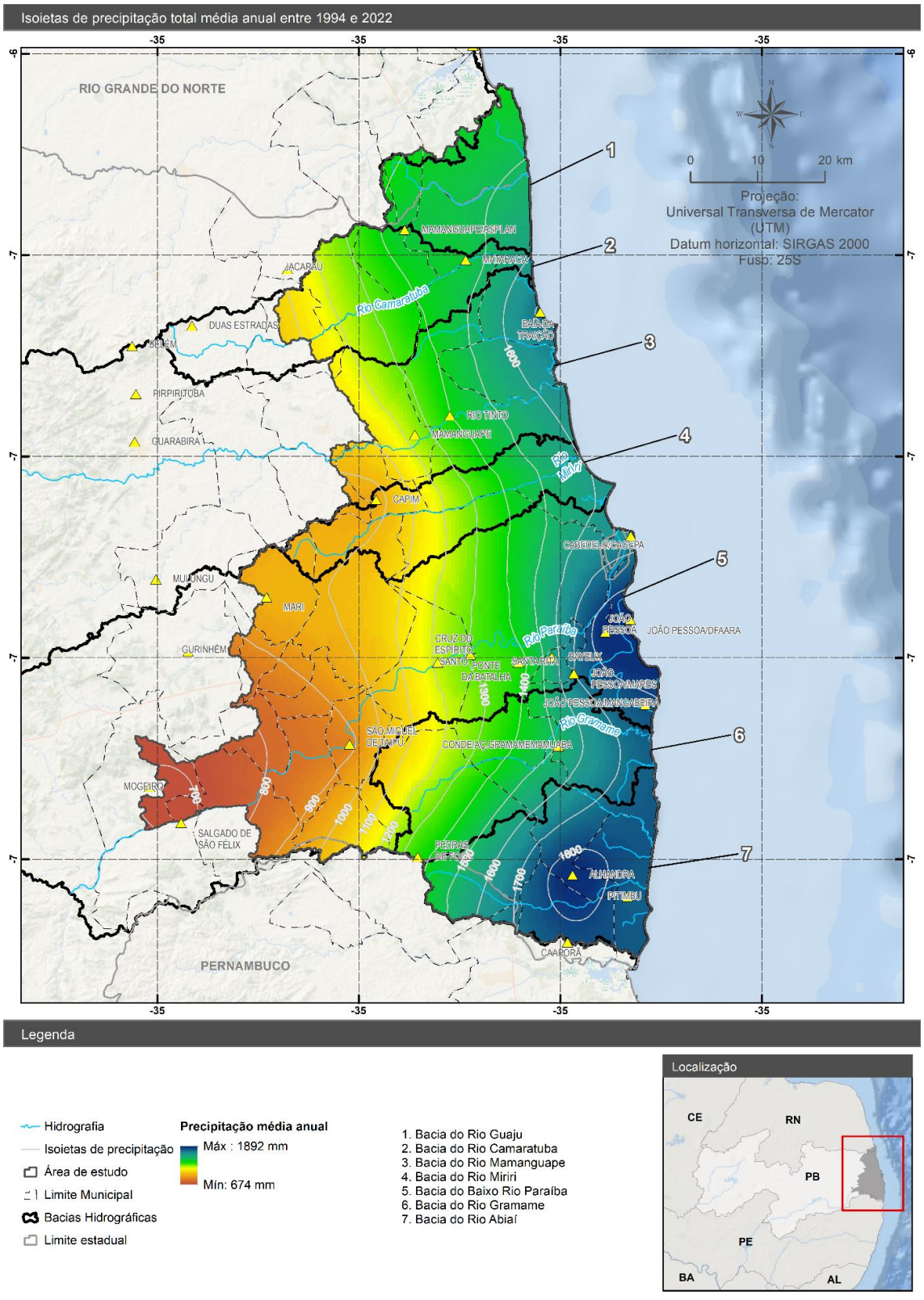


Figura 2.43 – Isoietas de precipitação total média anual entre 1994 e 2022.

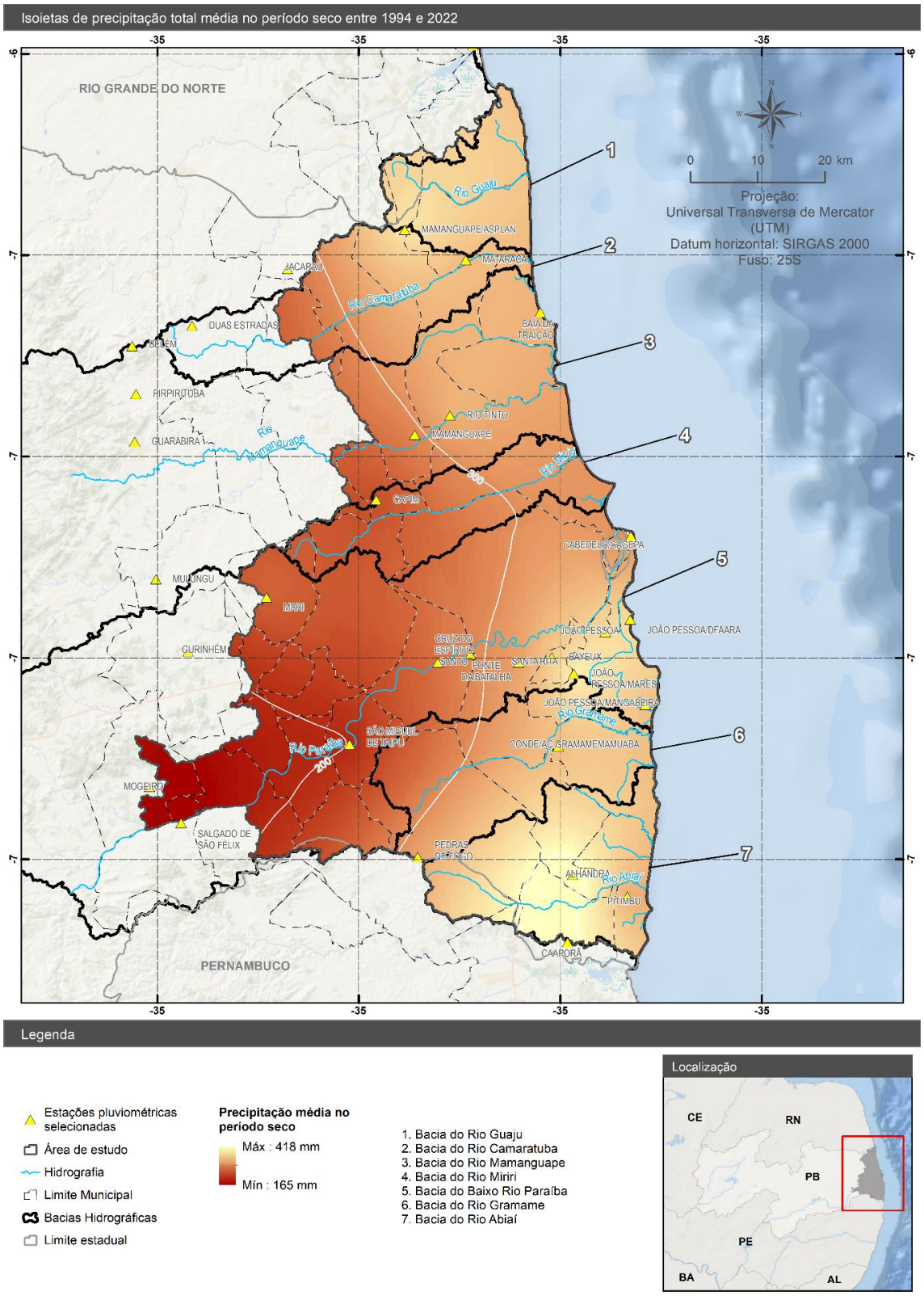


Figura 2.44 – Isoietas de precipitação total média no período seco entre 1994 e 2022.

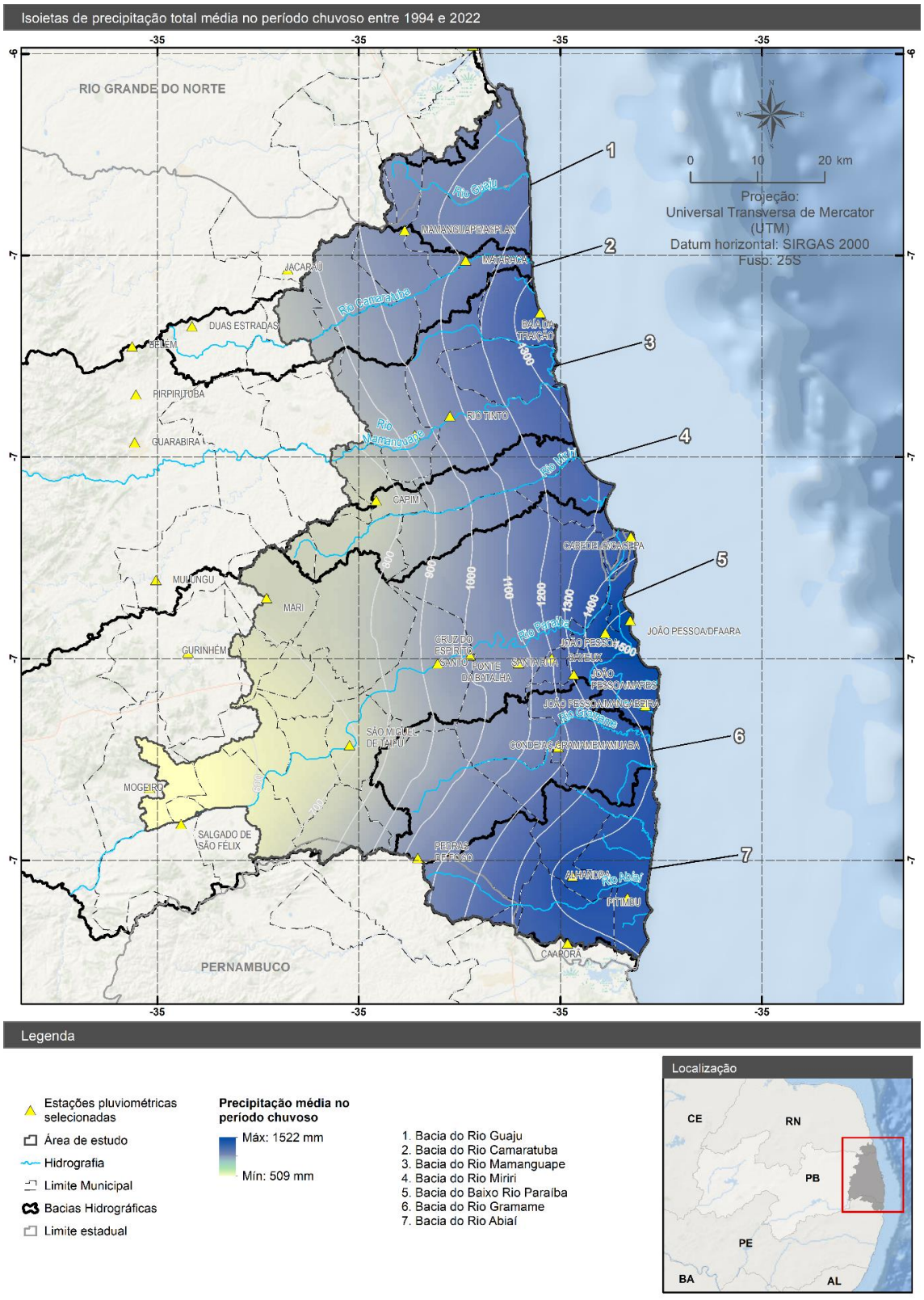


Figura 2.45 – Isoietas de precipitação total média no período chuvoso entre 1994 e 2022.

De acordo com a Figura 2.43 que ilustra a espacialização das precipitações totais anuais ao longo do SAPP, as maiores precipitações ocorrem nas porções sul e sudeste da área, na foz das bacias dos rios Abiaí, Gramame e Paraíba, conforme já havia sido constatado nos gráficos das Figura 2.34, Figura 2.35 e Figura 2.36, enquanto as menores precipitações anuais são registradas nas porções oeste e sudoeste, que abarca a mesorregião do agreste paraibano, inserida na bacia do rio Paraíba, conforme foi observado na Figura 2.37.

A Figura 2.46 apresenta uma comparação entre as isoietas geradas no presente estudo com as isoietas definidas pela CPRM no projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2011). Inicialmente, cabe destacar que o período das séries históricas de precipitação utilizados são diferentes nos dois estudos, sendo as isoietas anuais do presente estudo geradas a partir de dados de precipitação do período entre 1994 e 2022 e as isoietas anuais da CPRM geradas com dados de precipitação do período entre 1977 e 2006. Outra informação que merece destaque é a diferença entre a escala dos dois trabalhos, sendo a escala do presente estudo 1:650.000 e a do estudo da CPRM 1:5.000.000, destacando o nível de detalhamento do presente estudo.

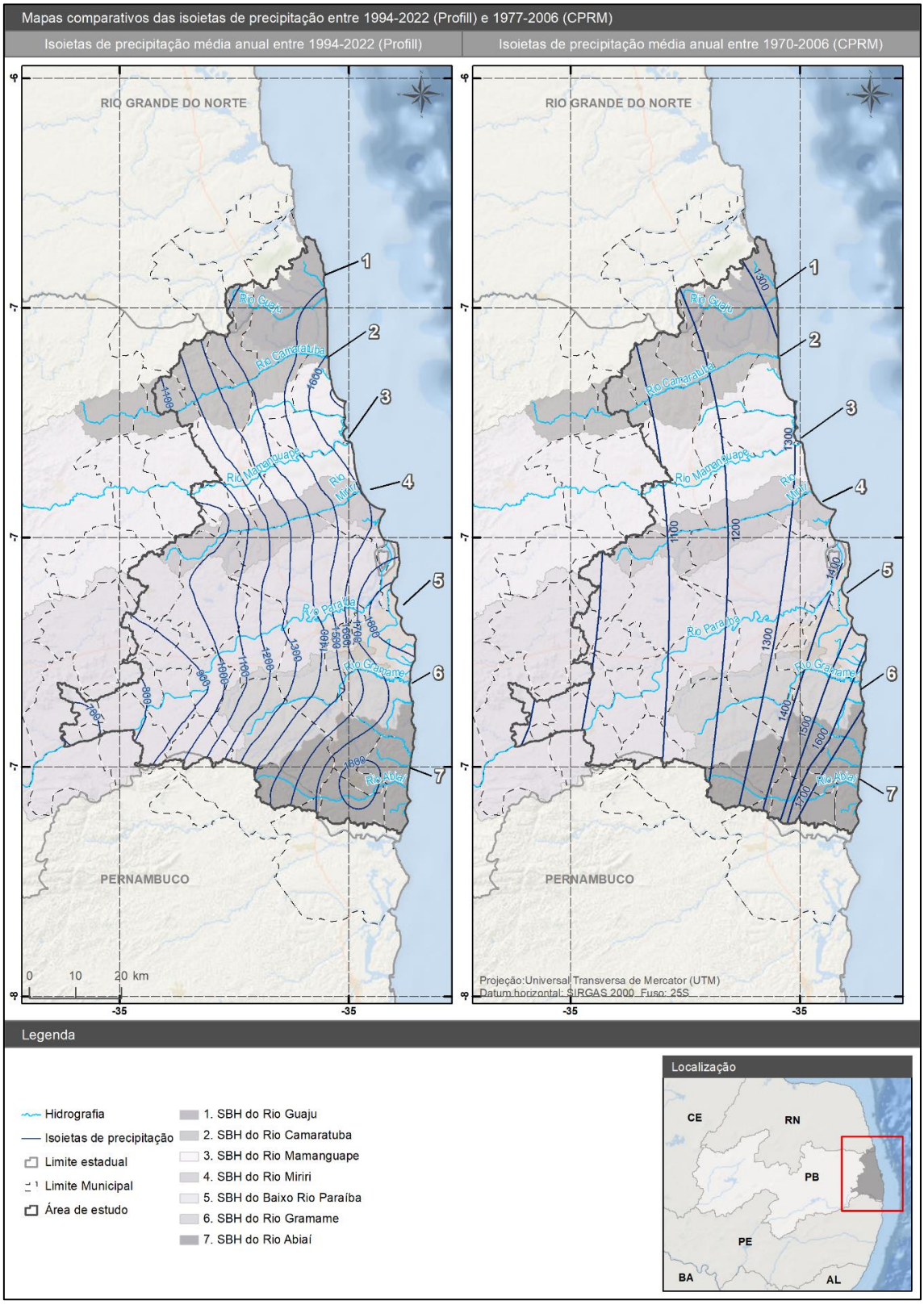


Figura 2.46 – Comparação entre as isoietas de precipitações médias anuais geradas no presente estudo com as isoietas do Atlas Pluviométrico (CPRM, 2011).

A Figura 2.47 apresenta uma análise conjugada da hipsometria da região e das isoietas de precipitações médias anuais, demonstrando o efeito orográfico do planalto da Borborema na formação das precipitações na zona da Mata Paraibana, decorrentes da obstaculização da livre circulação das massas de ar carregadas de umidade trazida do oceano para o interior. Esta característica é provocada pela retenção orográfica da nebulosidade, seguida de ascensão, resfriamento, saturação e precipitação.

É possível observar que nas áreas costeiras, onde o relevo é predominantemente plano, a influência da orografia na precipitação tende a ser menos significativa. Nessas regiões, a brisa marítima é um fator importante na formação de nuvens, pois o ar quente e úmido do oceano encontra a massa de ar mais fria sobre a terra, o que pode levar à formação de nuvens e precipitação.

Além disso, a distribuição das curvas de precipitação traçadas pelas isoietas sobre o mapa hipsométrico do relevo, desde a escarpa oriental do planalto da Borborema até o litoral, demonstram a elevação das alturas médias de precipitação de oeste para leste em gradientes pluviométricos ascendentes para o litoral, em sentido inverso à ascensão altimétrica das cotas topográficas do relevo, sobretudo quando alcança as elevações abruptas do maciço da Borborema.

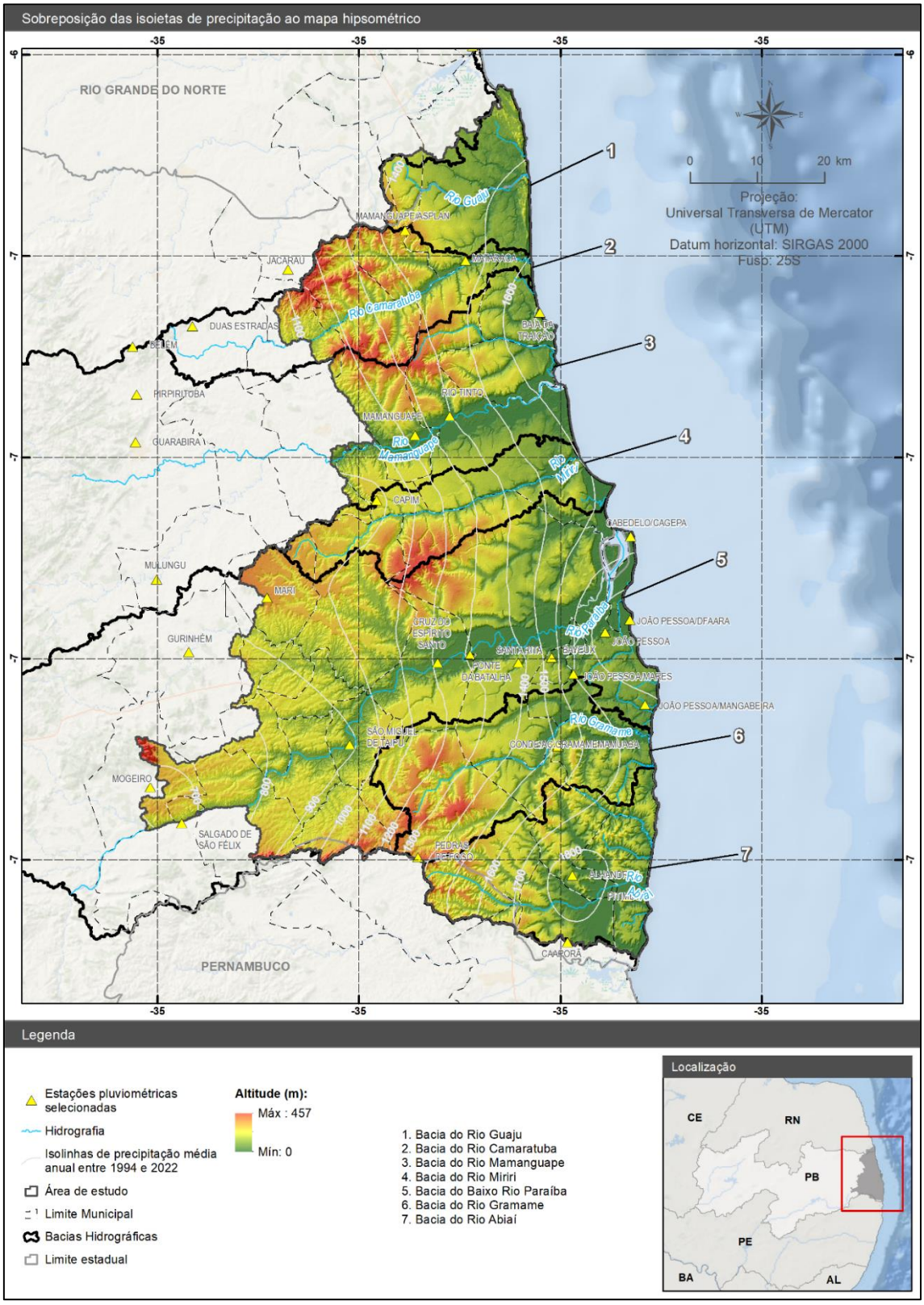


Figura 2.47 – Sobreposição das isoietas de precipitação ao mapa hipsométrico.

2.2.5.4 Dados de monitoramento fluviométrico

Conforme pode-se observar na Figura 2.48 e no Quadro 2.23, são sete as bacias hidrográficas que drenam para a área do SAPP, sendo a maior delas a bacia hidrográfica do Rio Paraíba (dividida em Alto, Médio e Baixo Rio Paraíba e Rio Taperoá), cujos rios drenam uma área de 20.200 km², sendo que somente a porção final da bacia, já denominada de Baixo Rio Paraíba, encontra-se inserida na área do SAPP.

Quadro 2.23 – Bacias hidrográficas influentes na área do SAPP.

Bacia	Área total	Dentro da área do SAPP	
	(km²)	(km²)	(%)
Rio Guaju	353	353	100%
Rio Camaratuba	630	463	73,5%
Rio Mamanguape	3.517	697	19,8%
Rio Miriri	428	428	100%
Rio Paraíba	20.200 (4.024 do Baixo Rio Paraíba)	2.049	10,1% (50,9% do Baixo Rio Paraíba)
Rio Gramame	622	622	100%
Rio Abiaí	589	589	100%

Para cada bacia de influência do SAPP foram levantadas as estações fluviométricas existentes na base de dados da ANA, através do Portal Hidroweb. Além disso, também foi verificada a disponibilidade de dados das estações (cota, vazão, curva de descarga, perfil transversal, sedimento, qualidade etc.).

Nas bacias de influência do SAPP constam no Hidroweb 141 estações fluviométricas, cuja distribuição, considerando sua localização nas bacias hidrográficas e seus operadores, é apresentada no Quadro 2.24.

Quadro 2.24 – Estações fluviométricas localizadas nas bacias influentes da área do SAPP.

Bacias	AESA-PB	ANA	APAC-PE	CPRM	DNOCS	DNOS	HOBECO	IGARN-RN	SUDENE	Total Geral
SBH do Rio Guaju		1		1				1		3
SBH do Rio Camaratuba	2									2
SBH do Rio Mamanguape	25	1		3	1	3				33
SBH do Rio Miriri	1									1
SBH do Alto Rio Paraíba	29	2	1	1	2		1		3	39
SBH do Médio Rio Paraíba	9	1		3	1				2	16
SBH do Baixo Rio Paraíba	12			4	1				1	18
SBH do Rio Teperoá	16			3	1				1	21

Bacias	AESA-PB	ANA	APAC-PE	CPRM	DNOCS	DNOS	HOBECO	IGARN-RN	SUDENE	Total Geral
SBH do Rio Gramame	6									6
SBH do Rio Abiaí	2									2
Total Geral	**102**	**5**	**1**	**15**	**6**	**3**	**1**	**1**	**7**	**141**

Conforme pode-se observar no Quadro 2.24, a AESA possui o maior número de estações localizadas nas bacias hidrográficas de influência do SAPP. Contudo, a maioria refere-se ao monitoramento de cotas dos açudes e reservatórios ou a amostragem de qualidade da água que podem conter ou não dados de descarga líquida, mas com periodicidade trimestral, o que não possibilita sua utilização para a caracterização do escoamento superficial e das vazões características das bacias hidrográficas. Os dados das estações da APAC-PE, IGARN-RN, HOBECO, DNOCS, DNOS e SUDENE também são referentes a cotas e qualidade da água ou não estão disponíveis no Hidroweb. Resta, portanto, para a análise do escoamento superficial as estações da ANA, CPRM e aquelas da AESA com monitoramento diário de vazão.

Do Quadro 2.25 até o Quadro 2.31 são apresentadas as estações fluviométricas localizadas em cada bacia hidrográfica de influência do SAPP, assim como o dado que está disponível no Hidroweb para cada estação. Nos casos em que existem dados de monitoramento de vazão diária disponíveis (estações indicadas como dados completos), o período compreendido do monitoramento é apresentado. É apresentado ainda o rio onde a estação está localizada, área de drenagem, responsáveis e operadores.

Após as análises dos dados disponíveis constatou-se que séries longas de monitoramento de vazão (necessárias para os estudos hidrológicos) estão disponíveis apenas para as bacias do Rio Guaju, Rio Mamanguape e Rio Paraíba. Conforme comentado anteriormente, nas demais bacias existe medição de vazão com periodicidade trimestral, realizadas junto com as coletas de qualidade da água. Esses dados foram disponibilizados pela AESA para o período compreendido entre 2018 e 2022 e foram utilizados para fins de comparação de resultados.

A partir das análises realizadas foram selecionadas as estações com mais de 15 anos de dados de monitoramento de vazão disponível e que estão atualmente em operação, sendo elas apresentadas no Quadro 2.32 e na Figura 2.48 totalizando 11 estações fluviométricas.

Quadro 2.25 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Guaju.

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38648001	CANGUARETAMA	Qualidade			Sim	ND	RIO GUAJU	IGARN-RN	IGARN-RN
38660000	FAZENDA ALMAS	Perfil Transversal			Não	52	RIO GUAJU	ANA	ANA
38690000	FAZENDA ALMAS	Completa	01/12/2007	01/04/2023	Sim	52	RIO GUAJU	ANA	CPRM

Quadro 2.26 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Camaratuba.

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38653000	AÇUDE DUAS ESTRADAS	Cota			Sim	3	RIO CAMARATUBA	ANA	AESA-PB
38700000	RIO TINTO	Qualidade			Sim	ND	RIO CAMARATUBA	AESA-PB	AESA-PB

Quadro 2.27 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Mamanguape.

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38737000	AÇUDE CHUPADOURO II	Cotas			Sim	2	RIACHO RIACHÃO	ANA	AESA-PB
38735000	AÇUDE MASSARANDUBA	Cotas			Sim	1	RIO CACHOEIRA	ANA	AESA-PB
38734000	AÇUDE SINDÔ RIBEIRO	Cotas			Sim	26	RIACHO RIBEIRO	ANA	AESA-PB
38740000	AÇUDE BREJINHO	ND			Sim	ND	RIACHO RIACHÃO	AESA-PB	AESA-PB
38600000	AÇUDE SÃO SEBASTIÃO	Cotas			Sim	2	RIACHO SÃO SEBASTIÃO	ANA	AESA-PB
38599000	AÇUDE EMÍDIO	Cotas			Sim	9	RIACHO DO EMÍDIO	ANA	AESA-PB
38599500	AÇUDE MANGUAPE	Cotas			Sim	37	RIO MAMANGUAPE	ANA	AESA-PB
38720000	AÇUDE CAMARÁ	Cotas			Sim	134	RIO RIACHÃO	ANA	AESA-PB
38710900	BARRAGEM NOVA CAMARÁ	Qualidade			Sim	ND	RIO RIACHÃO	AESA-PB	AESA-PB
38710000	AÇUDE COVÃO	Cotas			Sim	19	RIACHO COVÃO	ANA	AESA-PB
38750000	MULUNGU	Completa	01/01/1973	01/03/2023	Sim	875	RIO MAMANGUAPE	ANA	CPRM
38750001	MULUNGU	Qualidade			Sim	ND	RIO MAMANGUAPE	AESA-PB	AESA-PB
38730000	AÇUDE PITOMBEIRAS	ND			Não	18	RIACHO PITOMBEIRA	ANA	AESA-PB
38610000	AÇUDE VACA BRAVA	Cotas			Sim	14	RIACHO VACA BRAVA	ANA	AESA-PB
38615000	AÇUDE SAULO MAIA	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIACHO AREIA	AESA-PB	AESA-PB
38620000	AÇUDE TAUÁ	Cotas			Sim	58	RIO TAUÁ	ANA	AESA-PB
38760000	MULUNGUZINHO	ND			Não	1090	RIO MAMANGUAPE	DNOS	DNOS
38770000	TAINHA	ND			Não	1270	RIO ARACAJÍ	DNOS	DNOS
38771000	SÍTIO PASSAGEM	Completa	01/01/2000	01/04/2023	Sim	908	RIO ARACAJÍ	ANA	CPRM
38774900	AÇUDE ARAÇAGI MONTANTE	Cotas			Não	1230	RIO MAMANGUAPE	ANA	AESA-PB
38775100	AÇUDE ARAÇAGI JUSANTE	ND			Não	2550	RIO MAMANGUAPE	ANA	AESA-PB
38775000	AÇUDE ARAÇAGI	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO MAMANGUAPE	AESA-PB	AESA-PB
38790000	PONTE DO LEITÃO	Completa	01/12/1969	01/03/2023	Sim	2950	RIO MAMANGUAPE	ANA	CPRM
38791000	MAMANGUAPE	Resumo Descarga			Não	2980	RIO MAMANGUAPE	DNOCS	DNOCS

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38792000	PONTE DO LEITÃO - JUSANTE	Cotas e Vazão	01/12/1969	01/09/1970	Não	2990	RIO MAMANGUAPE	ANA	ANA
38780000	CURRALINHO	ND			Não	145	RIO GUANDU	DNOS	DNOS
38795000	RIO MAMANGUAPE	Qualidade			Sim	ND	RIO MAMANGUAPE	AESA-PB	AESA-PB
38794000	AÇUDE JANGADA	Cotas			Sim	ND	RIO TINTO	AESA-PB	AESA-PB
38630000	AÇUDE PIRPIRITUBA	Cotas			Sim	42	RIO PIRPIRITUBA	ANA	AESA-PB
38625000	AÇUDE CANAFÍSTULA II	Cotas			Sim	19	RIO PIRPIRITUBA	ANA	AESA-PB
38647900	AÇUDE LAGOA DO MATIAS MONTANTE	ND			Não	13	RIO BANANEIRAS	ANA	AESA-PB
38648000	AÇUDE LAGOA DO MATIAS	Cotas			Sim	13	RIO BANANEIRAS	ANA	AESA-PB
38640000	AÇUDE SUSPIRO	Cotas			Sim	6	RIACHO DO SUSPIRO	ANA	AESA-PB

Quadro 2.28 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Miriri.

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
RIO TINTO	38796000	Qualidade			Sim	ND	RIO MIRIRI	AESA-PB	AESA-PB

Quadro 2.29 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Paraíba.

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38870000	AÇUDE ACAUÃ	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38871000	AÇUDE ACAUÃ JUSANTE	ND			Não	16100	RIO PARAÍBA	ANA	AESA-PB
38869900	AÇUDE ACAUÃ MONTANTE	ND			Não	15300	RIO PARAÍBA	ANA	AESA-PB
38883000	AÇUDE BICHINHO	Cotas			Sim	ND	RIACHO DO BAIXINHO	ANA	AESA-PB
38860500	AÇUDE BODOCONGÓ	Qualidade			Sim	ND	RIO BODOCONGO	AESA-PB	AESA-PB
38855000	AÇUDE BOQUEIRÃO	Cotas			Não	12400	RIO PARAÍBA	SUDENE	SUDENE
38855001	AÇUDE BOQUEIRÃO	Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
48831000	AÇUDE BREJINHO	ND			Sim	ND	RIACHO DO BREJO	CPRH-PE	APAC-PE
38880500	AÇUDE CAMALAÚ	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO MONTEIRO	AESA-PB	AESA-PB
38882000	AÇUDE CAMPOS	Cotas			Sim	ND	RIACHO VELHA ANTÔNIA	ANA	AESA-PB
38742000	AÇUDE CHÃ DOS PEREIRAS	Cotas			Sim	19	RIO GURINHEM	ANA	AESA-PB
38881000	AÇUDE CORDEIRO	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38844700	AÇUDE CORONEL JUECA	ND			Sim	ND	RIACHO DA QUIXABÁ	AESA-PB	AESA-PB
38855100	AÇUDE EPITÁCIO PESSOA (BOQUEIRÃO)	Cotas			Sim	12400	RIO PARAÍBA	ANA	AESA-PB
38855150	AÇUDE EPITÁCIO PESSOA JUSANTE	Completa	01/06/2022	01/05/2023	Sim	12391	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
38855050	AÇUDE EPITÁCIO PESSOA MONTANTE	Cotas, Qualidade, Resumo Descarga			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38855160	AÇUDE EPITÁRIO PESSOA - ULTRASSOM	ND			Sim	ND	RIO PARAÍBA	ANA	ANA
38876000	AÇUDE GAVIÃO	Cotas			Sim	2	RIACHO QUATI	ANA	AESA-PB
38847000	AÇUDE GURJÃO	Cotas			Sim	ND	RIACHO DAS COBRAS	ANA	AESA-PB
38844500	AÇUDE JEREMIAS	Cotas			Sim	ND	RIACHO DESTERRO	ANA	AESA-PB
38748000	AÇUDE JOSÉ RODRIGUES	Cotas			Sim	52	RIO SURRÃO	ANA	AESA-PB
38747000	AÇUDE JOSÉ RODRIGUES	Qualidade			Sim	ND	RIO SURRÃO	AESA-PB	AESA-PB
38845000	AÇUDE LAGOA DO MEIO	Cotas			Sim	93	RIACHO MANIÇOBA	ANA	AESA-PB
38842000	AÇUDE LIVRAMENTO (RUSSOS)	Cotas			Sim	ND	RIACHO DO LIVRAMENTO	ANA	AESA-PB
39084050	AÇUDE MARÉS	Cotas			Sim	28	RIO MARÉS	ANA	AESA-PB
38605000	AÇUDE MILHÃ (E. Gonçalves)	Cotas			Sim	27	RIACHO PUXINANÃ	ANA	AESA-PB
38846000	AÇUDE MUCUTÚ	Qualidade			Sim	ND	RIACHO MUCUTU	AESA-PB	AESA-PB
38848000	AÇUDE NAMORADO	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIACHO NAMORADO	AESA-PB	AESA-PB
38885500	AÇUDE OLHO D'ÁGUA	Cotas			Sim	10	RIACHO SÃO SALVADOR	ANA	AESA-PB
37562700	AÇUDE OLIVEDOS	Cotas			Sim	116	RIACHO DO PADRE	ANA	AESA-PB
38851000	AÇUDE OURO VELHO	Cotas			Sim	ND	RIACHO OLHOS D'ÁGUA	ANA	AESA-PB
38352800	AÇUDE POÇINHOS	Cotas			Sim	ND	RIACHO DA JABITACA	ANA	AESA-PB
38801000	AÇUDE POÇÕES	Cotas			Não	651	RIO PARAÍBA	ANA	HOBECO
38354000	AÇUDE POÇÕES	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO MONTEIRO	AESA-PB	AESA-PB
38851400	AÇUDE PRATA II	Cotas			Sim	ND	RIO DA PRATA	ANA	AESA-PB
38861000	AÇUDE RIACHO SANTO ANTÔNIO	Cotas			Sim	ND	RIACHO SANTO ANTÔNIO	ANA	AESA-PB
38384600	AÇUDE SANTO ANTÔNIO	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO DO UMBUZEIRO	AESA-PB	AESA-PB
38851900	AÇUDE SÃO DOMINGOS	Cotas			Sim	ND	RIACHO GRAVATÁ	ANA	AESA-PB
38426000	AÇUDE SÃO JOSÉ II	Qualidade			Sim	ND	RIACHO DO FRADINHO	AESA-PB	AESA-PB
38843000	AÇUDE SÃO JOSÉ III	Cotas			Sim	ND	RIACHO SÃO GONÇALO	ANA	AESA-PB
38851500	AÇUDE SÃO PAULO	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIACHO DE ACAUÃ	AESA-PB	AESA-PB
38886000	AÇUDE SÃO SALVADOR	Cotas			Sim	100	RIACHO SÃO SALVADOR	ANA	AESA-PB
38844000	AÇUDE SERRA BRANCA I	Cotas			Sim	ND	RIACHO SÃO JOÃO DO CARIRÍ	ANA	AESA-PB
38843900	AÇUDE SERRA BRANCA II	Cotas			Sim	ND	RIACHO JATOBÁ	ANA	AESA-PB
38353500	AÇUDE SERROTE	Cotas			Sim	ND	RIACHO SERROTE	ANA	AESA-PB
38852000	AÇUDE SOLEDADE	Cotas e Qualidade			Sim	316	RIACHO DO PADRE	ANA	AESA-PB
38851800	AÇUDE SUMÉ	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO SUCURU	AESA-PB	AESA-PB
38820000	AÇUDE SUMÉ	Resumo Descarga			Não	772	RIO SUCURU	SUDENE	SUDENE
38851820	AÇUDE SUMÉ JUSANTE	ND			Sim	ND	RIO SUCURU	AESA-PB	AESA-PB
38851700	AÇUDE SUMÉ MONTANTE	ND			Não	543	RIO SUCURU	ANA	AESA-PB

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38839000	AÇUDE TAPEROÁ II (Manoel Marcionilo)	Cotas			Sim	ND	RIO TAPEROÁ	ANA	AESA-PB
38868001	AROEIRAS	Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38865000	BARRA DE JOÃO LEITE	Completa	01/06/2018	01/09/2022	Sim	235	RIO PARAIBINHA	ANA	CPRM
38860001	BARRA DE SANTANA	Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38896000	BAYEUX	Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38860000	BODOCONGO	Completa com Sedimentos	01/12/1969	01/11/2022	Sim	13700	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
38855300	BOQUEIRÃO DE CABACEIRAS	Cotas			Não	12400	RIO PARAÍBA	DNOCS	DNOCS
38800500	CAMALAÚ - MONTANTE	Completa com Sedimentos	01/01/2015	01/10/2022	Sim	1500	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
38830000	CARAÚBAS	Completa com Sedimentos	01/03/1970	01/07/2022	Sim	5030	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38888000	ENGENHO SANTANA	Completa	01/12/2002	01/11/2022	Sim	18900	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
38865001	FAGUNDES	Qualidade			Não	ND	RIO PARAIBINHA	AESA-PB	AESA-PB
38880000	GUARITA	Completa	01/01/1970	01/05/2023	Sim	17400	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
38880001	GUARITA (LAURO MULLER)	Cotas			Não	17400	RIO PARAÍBA	DNOCS	DNOCS
38880002	ITABAIANA	Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38810000	MONTEIRO	Cotas			Sim	326	RIO MONTEIRO	DNOCS	DNOCS
38841800	PARARI	Qualidade			Não	ND	RIO TAPEROÁ	AESA-PB	AESA-PB
38868000	PICADAS	Cotas			Não	15100	RIO PARAÍBA	SUDENE	SUDENE
38885000	PILAR	Cotas			Não	17500	RIO PARAÍBA	SUDENE	SUDENE
38353000	PISF AÇUDE SÃO JOSÉ II	Cotas, Curva de Descarga, Resumo Descarga			Sim	ND	RIACHO MULUNGU	AESA-PB	AESA-PB
38811000	PISF MONTEIRO	Curva de Descarga, Resumo Descarga			Sim	ND	RIO MONTEIRO	AESA-PB	AESA-PB
38895001	PISF PONTE DA BATALHA	Qualidade			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38831000	PISF SÍTIO PORTEIRAS	Resumo Descarga			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38811500	PISF SÍTIO QUEIMAÇÃO	Resumo Descarga			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38855020	PISF SÍTIO RIACHO FUNDO	ND			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
38850000	POÇO DE PEDRAS	Completa	01/01/1970	01/04/2023	Sim	3180	RIO TAPEROÁ	ANA	CPRM
38895000	PONTE DA BATALHA	Completa com Sedimentos	01/12/1969	01/03/2023	Sim	19000	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
38860800	QUEIMADAS	Qualidade			Sim	ND	RIO SÃO PEDRO	AESA-PB	AESA-PB
38853000	RIO TAPEROÁ JUSANTE CABACEIRAS	Qualidade			Sim	ND	RIO TAPEROÁ	AESA-PB	AESA-PB
38849000	SÃO JOÃO DO CARIRI	Completa	01/06/2018	01/11/2022	Sim	3093	RIO TAPEROÁ	ANA	CPRM
38850001	SÃO JOÃO DO CARIRI	Qualidade			Sim	ND	RIO TAPEROÁ	AESA-PB	AESA-PB
38800300	SÃO JOSÉ II	ND			Sim	ND	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
38815000	SÍTIO BOM NOME DOS DOMINGOS	Cotas			Sim	676	RIO MULUNGU	DNOCS	DNOCS
38800000	SÍTIO CONCEIÇÃO	Perfil Transversal			Não	1240	RIO MONTEIRO	ANA	ANA
38812000	SÍTIO CONCEIÇÃO	Completa com Sedimentos	01/04/2017	01/07/2021	Sim	1240	RIO MONTEIRO	AESA-PB	AESA-PB
38887000	SOBRADO	Completa	01/01/2000	01/04/2023	Sim	728	RIO GURINHEM	ANA	CPRM
38851950	SOLEDADE	Qualidade			Sim	ND	RIACHO DO PADRE	AESA-PB	AESPB
38800001	SUMÉ	Qualidade			Sim	ND	RIO MONTEIRO	AESA-PB	AA-PB
38821000	SUMÉ - CANAL DE IRRIGAÇÃO	ND			Não	772	RIO SUCURU (BRAÇO)	SUDENE	UDENE
38820100	SUMÉ - JUSANTE	ND			Sim	770	RIO SUCURU	ANA	AESA-PB
38822000	SUMÉ - SANGRADOURO	Cotas, Perfil Transversal, Resumo Descarga			Não	772	RIO SUCURU	ANA	ANA
38857000	TABOADO BOQUEIRÃO	ND			Não	12500	RIO PARAÍBA	SUDENE	SUDENE
38841500	TAPEROÁ	Cotas			Não	625	RIO TAPEROÁ	DNOCS	DNOCS
38840000	TAPEROÁ I - MONTANTE	Cotas			Não	599	RIO TAPEROÁ	SUDENE	SUDENE
38841000	TAPEROÁ II - JUSANTE	Completa	01/01/2015	01/11/2022	Não	599	RIO TAPEROÁ	ANA	CPRM

Quadro 2.30 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Gramame.

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
39081070	AÇUDE GRAMAME/GRAMAME MONTANTE	ND			Não	87	RIO GRAMAME	ANA	AESA-PB
39081072	PEDRAS DE FOGO	Qualidade			Sim	ND	RIO GRAMAME	AESA-PB	AESA-PB
39084080	AÇUDE GRAMAME/MAMUABA	Cotas e Qualidade			Sim	ND	RIO GRAMAME	AESA-PB	AESA-PB
39081080	SANTA RITA	Qualidade			Sim	ND	RIO MAMUABA	AESA-PB	AESA-PB
39081090	AÇUDE GRAMAME/MAMUABA JUSANTE	ND			Não	259	RIO GRAMAME	ANA	AESA-PB
39081075	AÇUDE GRAMAME/MAMUABA MONTANTE	ND			Não	80	RIO MAMUABA	ANA	AESA-PB

Quadro 2.31 – Estações fluviométricas localizadas na bacia do Rio Abiaí.

Código	Nome	Dados Disponíveis	Início	Fim	Operando	Área de Drenagem (km²)	Rio	Responsável	Operador
39081150	PITIMBU	Qualidade			Sim	ND	RIACHO PITIMBU	AESA-PB	AESA-PB
39081120	PITIMBU	Qualidade			Sim	ND	RIO ABIAÍ	AESA-PB	AESA-PB

Quadro 2.32 – Estações fluviométricas selecionadas para a caracterização do escoamento superficial das bacias de influência da área do SAPP.

Bacia	Código	Nome	Dados	Início	Fim	Área de Drenagem	Rio	Responsável	Operador
Rio Guaju	38690000	FAZENDA ALMAS	Completa	01/12/2007	01/04/2023	52	RIO GUAJU	ANA	CPRM
Rio Mamanguape	38750000	MULUNGU	Completa	01/01/1973	01/03/2023	875	RIO MAMANGUAPE	ANA	CPRM
Rio Mamanguape	38771000	SÍTIO PASSAGEM	Completa	01/01/2000	01/04/2023	908	RIO ARACAJÍ	ANA	CPRM

Bacia	Código	Nome	Dados	Início	Fim	Área de Drenagem	Rio	Responsável	Operador
Rio Mamanguape	38790000	PONTE DO LEITÃO	Completa	01/12/1969	01/03/2023	2950	RIO MAMANGUAPE	ANA	CPRM
Alto Rio Paraíba	38830000	CARAÚBAS	Completa	01/03/1970	01/07/2022	5030	RIO PARAÍBA	AESA-PB	AESA-PB
Rio Teperoá	38850000	POÇO DE PEDRAS	Completa	01/01/1970	01/04/2023	3180	RIO TAPEROÁ	ANA	CPRM
Médio Rio Paraíba	38860000	BODOCONGO	Completa	01/12/1969	01/11/2022	13700	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
Baixo Rio Paraíba	38888000	ENGENHO SANTANA	Completa	01/12/2002	01/11/2022	18900	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
Baixo Rio Paraíba	38880000	GUARITA	Completa	01/01/1970	01/05/2023	17400	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
Baixo Rio Paraíba	38895000	PONTE DA BATALHA	Completa	01/12/1969	01/03/2023	19000	RIO PARAÍBA	ANA	CPRM
Baixo Rio Paraíba	38887000	SOBRADO	Completa	01/01/2000	01/04/2023	728	RIO GURINHEM	ANA	CPRM

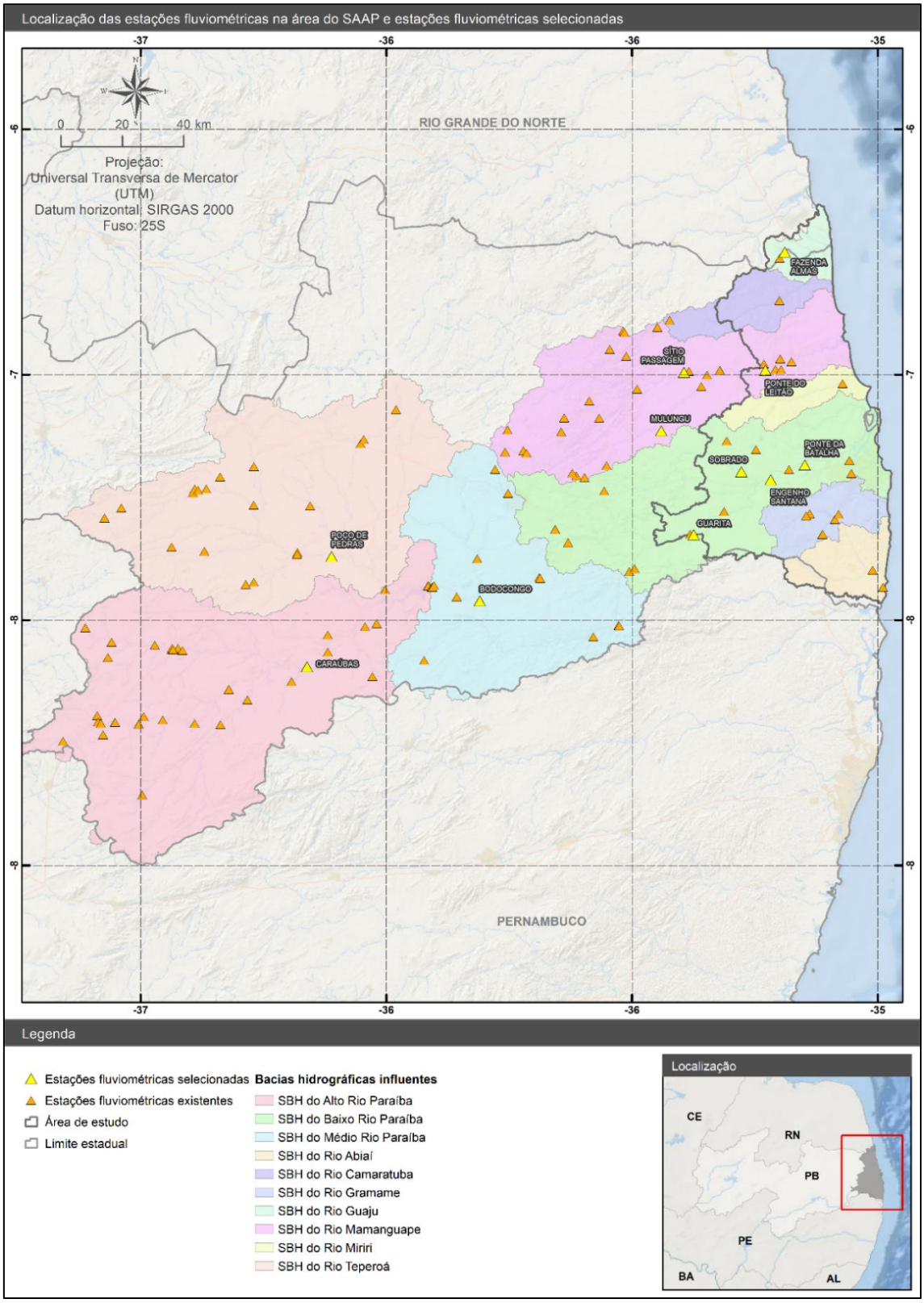


Figura 2.48 – Localização das estações fluviométricas nas bacias de influência do SAPP e estações fluviométricas selecionadas.

2.2.5.5 Caracterização do escoamento superficial

Para a caracterização do escoamento superficial das bacias foram analisados os hidrogramas de escoamento no local das estações fluviométricas e comparados com dados de precipitação de estações pluviométricas próximas buscando-se estabelecer relações entre o escoamento superficial, a precipitação e possíveis interferências relacionadas a transposição e/ou regularização de vazões.

A Figura 2.49 apresenta o hidrograma de escoamento das vazões médias mensais da estação Fazenda Almas (38690000) localizada na bacia do rio Guaju, comparado com a precipitação do mesmo período registrada na estação Mamanguape/Asplan (635117), mais próxima. Percebe-se que as vazões no rio acompanham as precipitações na região, ocorrendo picos de vazão nos meses mais úmidos. Pode-se observar ainda a importância da vazão de base nessa bacia, que mantém o escoamento no rio Guaju nos períodos mais secos. Não foram identificados reservatórios de regularização de vazão localizados a montante dessa estação.

A Figura 2.50 apresenta os hidrogramas de escoamento das estações localizadas na bacia do Rio Mamanguape. Já a Figura 2.51 apresenta uma comparação do hidrograma de escoamento da estação Ponte do Leitão (38790000) com as precipitações registradas no mesmo período na estação pluviométrica Mulungu (735009), logo a montante. Percebe-se que em determinados meses mais chuvosos, a vazão no rio Mamanguape não acompanha os picos de precipitação registradas na estação pluviométrica, principalmente no período mais recente. Esse comportamento ocorre justamente nos anos que foram registradas precipitações abaixo da média, conforme apresentado no Quadro 2.21. Dessa forma, pode-se concluir que a resposta da bacia do rio Mamanguape aos eventos de precipitação é diferente em anos mais secos comparados a anos mais úmidos. Em anos mais secos, a água tende a infiltrar em vez de escoar superficialmente, recarregando os aquíferos e reservatórios localizados na bacia; já em anos mais chuvosos, com o solo mais úmido e um escoamento de base mais constante, é gerado maior escoamento superficial.

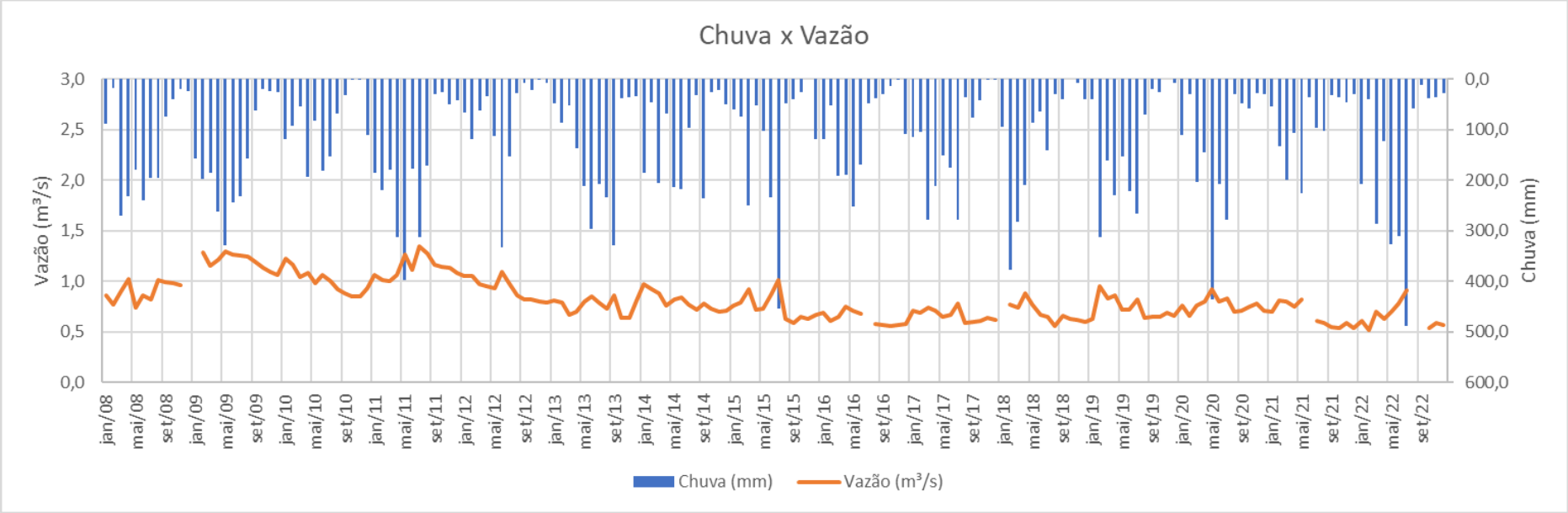


Figura 2.49 – Comparação entre a vazão média mensal na estação Fazenda Almas (38690000) e a precipitação pluviométrica registrada no mesmo período na estação Mamanguape/Asplan (635117).

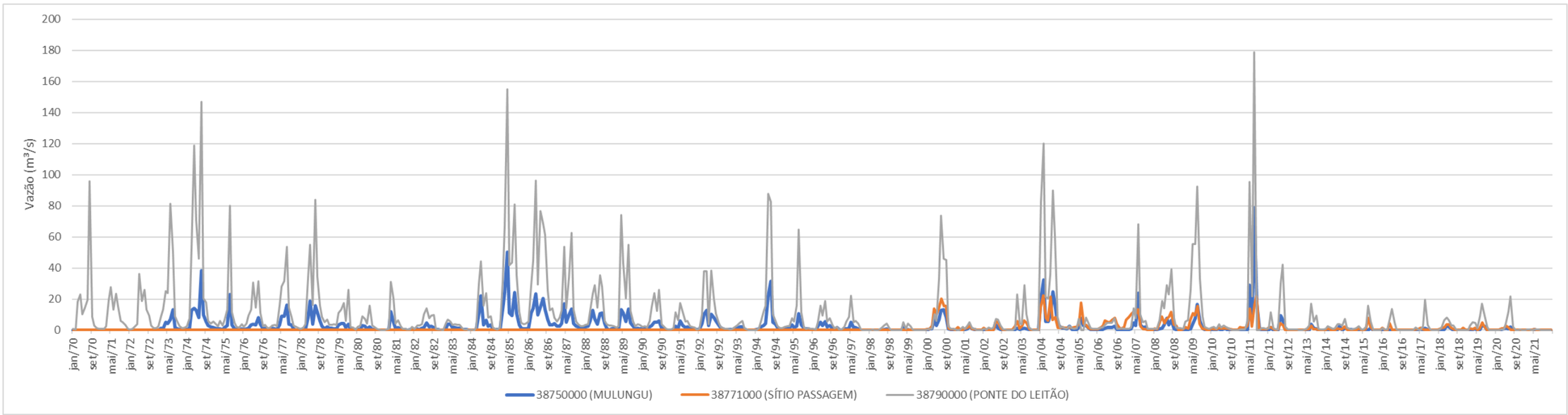


Figura 2.50 – Hidrogramas de escoamento das estações localizadas na bacia do rio Mamanguape.

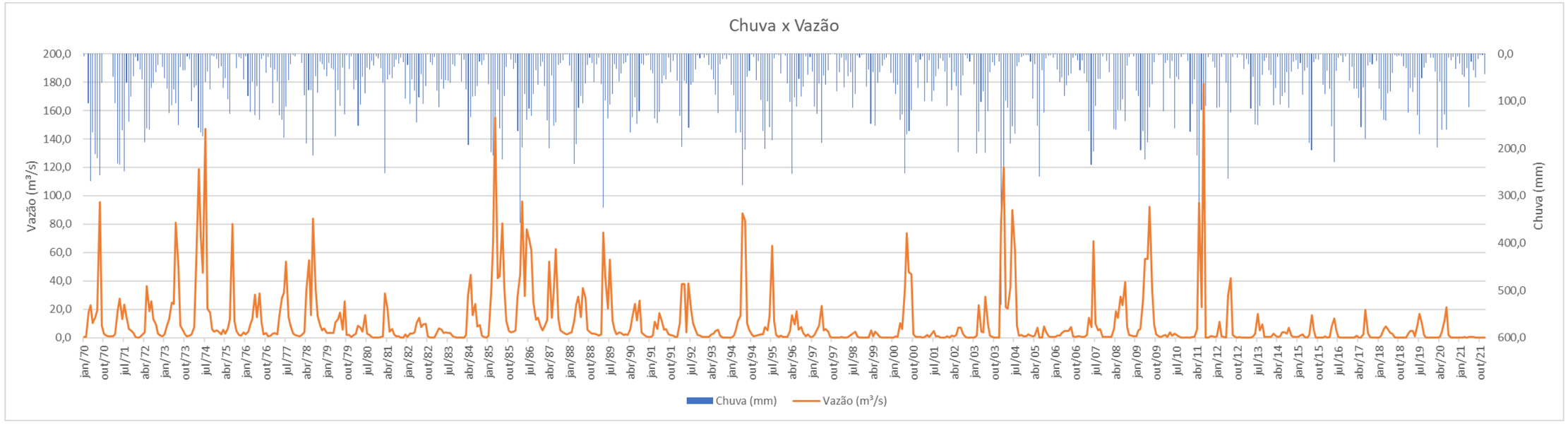


Figura 2.51 – Comparação entre a vazão média mensal na estação Ponte do Leitão (38790000) e a precipitação pluviométrica registrada no mesmo período na estação Mulungu (735009).

A Figura 2.52 e a Figura 2.53 apresentam os hidrogramas de escoamento das estações localizadas na bacia do Rio Paraíba. A vazão que escoa no Rio Paraíba é fortemente influenciada pelo volume dos açudes e reservatórios localizados na bacia, além do sistema de transposição do Rio Francisco.

No Alto Rio Paraíba está localizado o segundo maior reservatório de água do Estado, o açude Epitácio Pessoa, conhecido como Boqueirão, que armazena a maior parte da água da transposição no Estado da Paraíba. Percebe-se que os picos de vazão registrados nas estações fluviométricas do Alto e Médio Rio Paraíba (Figura 2.52) ocorreram nos mesmos anos em que o açude Boqueirão verteu água. O manancial sangrou nos anos de 1967, 1968, 1973, 1974, 1975, 1977, 1978, 1981, 1984, 1985, 1986, 1989, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009 e 2011.

Outro reservatório de grande volume e que influencia o escoamento superficial do Baixo Rio Paraíba é o açude Acauã. Esse açude está mais próximo da área do SAPP e, portanto, a água que flui pelo Rio Paraíba na área do SAPP depende, principalmente, das precipitações pluviométricas na região litorânea e da vazão regularizada pelo açude Acauã. Pode-se observar ainda que em boa parte do tempo, principalmente no Alto e Médio Paraíba, há meses em que o rio está seco, caracterizando a dinâmica natural de intermitência desse rio.

A Figura 2.54 apresenta uma comparação do hidrograma de escoamento da estação Ponte da Batalha (38895000), localizada na área do SAPP, com as precipitações registradas no mesmo período na estação pluviométrica de mesmo nome Ponte da Batalha (735036). Percebe-se que as precipitações pouco influenciam o escoamento superficial do Rio Paraíba na área de estudo, que, conforme exposto anteriormente, é mais fortemente influenciado pelas vazões regularizadas ou que vertem dos reservatórios localizados a montante. Esse comportamento fica evidente no período compreendido entre 2012 e 2021, onde observa-se no Quadro 2.21 volumes acumulado de precipitação em torno da média na estação Ponte da Batalha (735036), mas com baixa geração de escoamento superficial na bacia do Rio Paraíba.

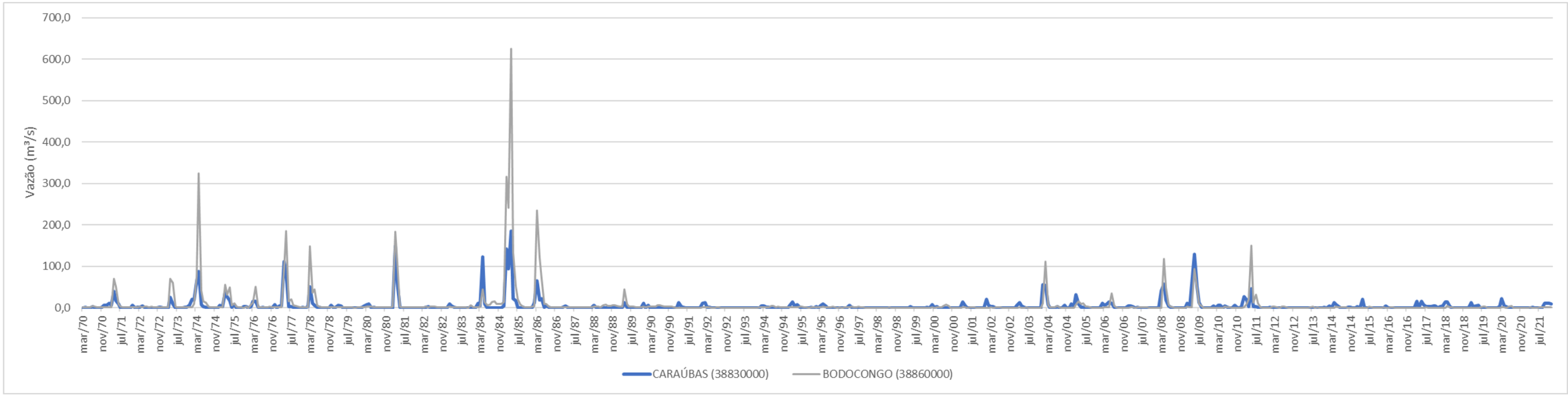


Figura 2.52 – Hidrogramas de escoamento das estações Caraúbas (38830000) e Bodocongo (38860000) localizadas no Alto e Médio Rio Paraíba, respectivamente.

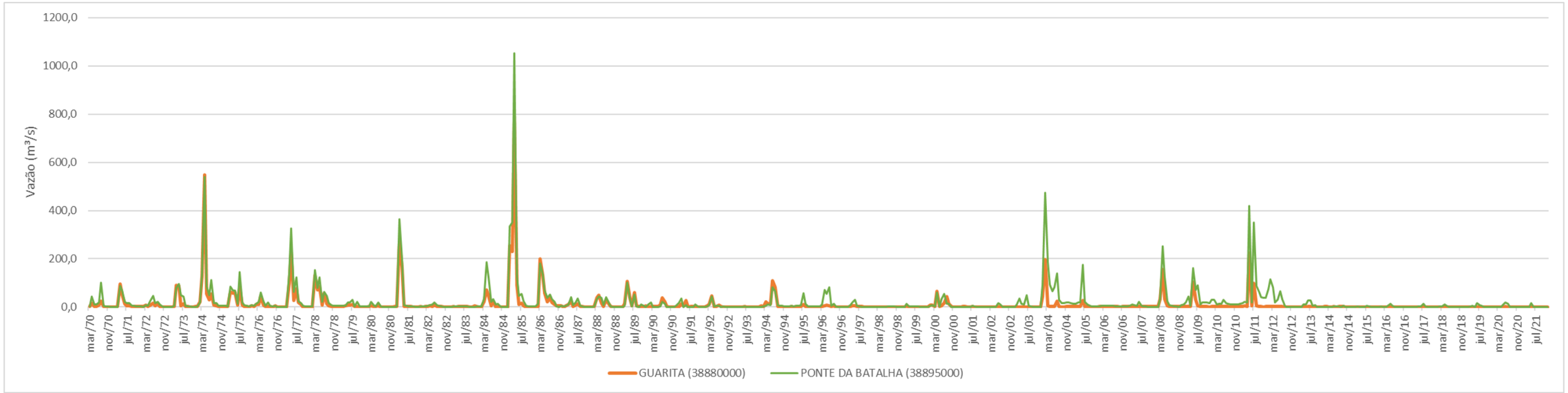


Figura 2.53 – Hidrogramas de escoamento das estações Guarita (38880000) e Ponte da Batalha (38895000), localizadas no Baixo Rio Paraíba.

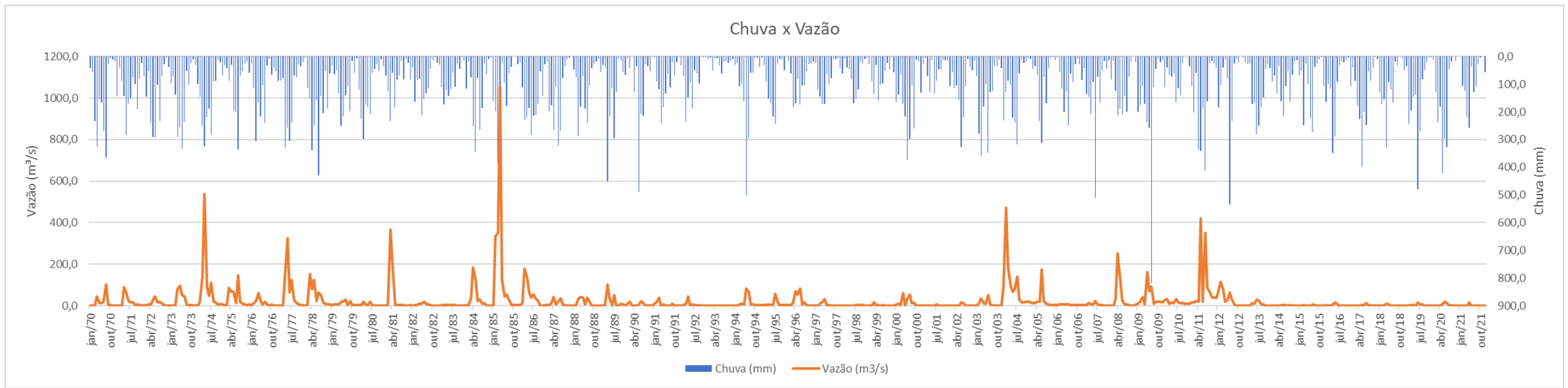


Figura 2.54 – Comparação entre a vazão média mensal na estação Ponte da Batalha (38895000) e a precipitação registrada no mesmo período na estação pluviométrica de mesmo nome Ponte da Batalha (735036).

Além da avaliação do escoamento superficial das bacias, foram calculadas as vazões características média de longo período (Q_{mlp}), vazões da curva de permanência (Q_{50}, Q_{90}, Q_{95}, Q_{98} e Q_{99}) e a vazão $Q_{7,10}$, que representa a semana mais seca registrada, com tempo de retorno de 10 anos.

Foram estimadas as vazões características para a série completa de dados de cada estação e utilizando-se um período comum de dados entre as estações de uma mesma bacia. Para a bacia do Rio Mamanguape o período comum de dados entre as estações é de 2000 a 2021, sendo que dentro desse período, a estação Mulungu (38750000), apresenta dois anos de falhas (2015 e 2016). Já, para a bacia do Rio Paraíba, o período comum de dados entre as estações utilizado foi de 2003 a 2021, sendo que dentro desse período, a estação Sobrado (38887000), apresentou grande número de falhas e, portanto, foi desconsiderada das análises.

Da Figura 2.55 a Figura 2.64 são apresentadas as curvas de permanência de vazão no local das estações fluviométricas localizadas próximas ou internas a área do SAPP, para a série completa de dados da estação e para os períodos comum de dados entre as estações de uma mesma bacia.

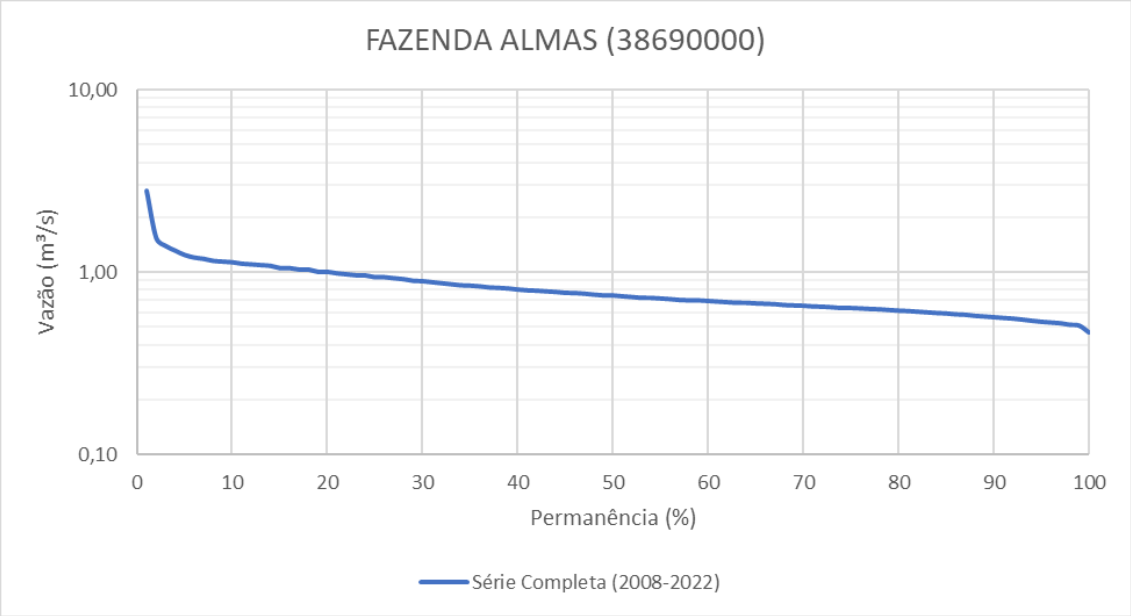


Figura 2.55 – Curva de permanência de vazões da estação Fazenda Almas (38690000) localizada no Rio Guaju, na bacia do Rio Guaju.

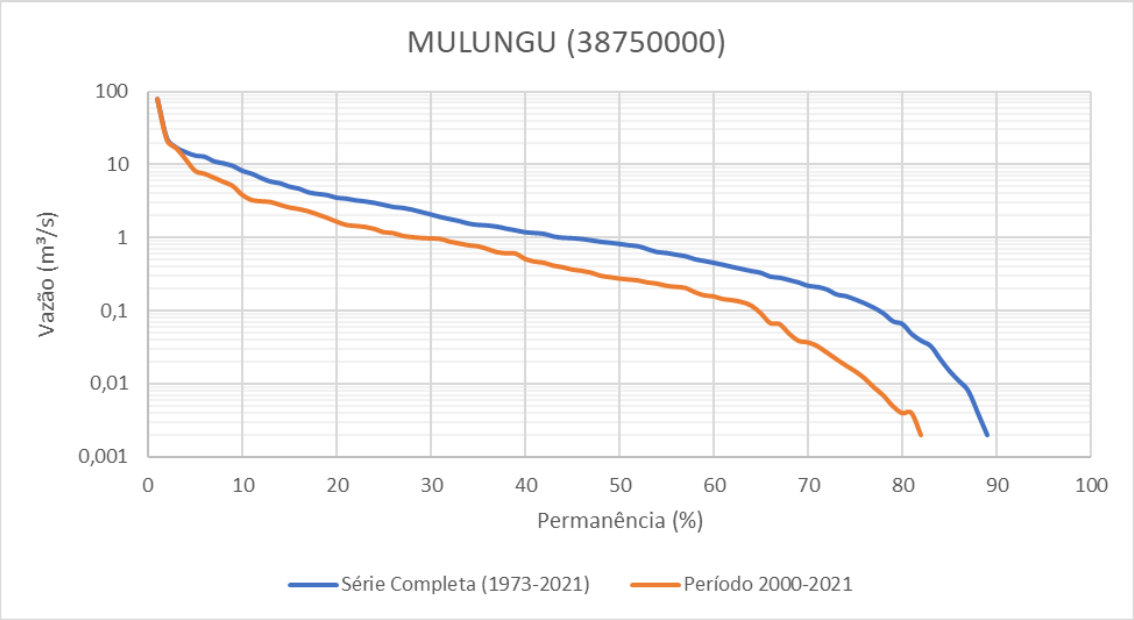


Figura 2.56 – Curva de permanência de vazões da estação Mulungu (38750000) localizada no Rio Mamanguape, na bacia do Rio Mamanguape.

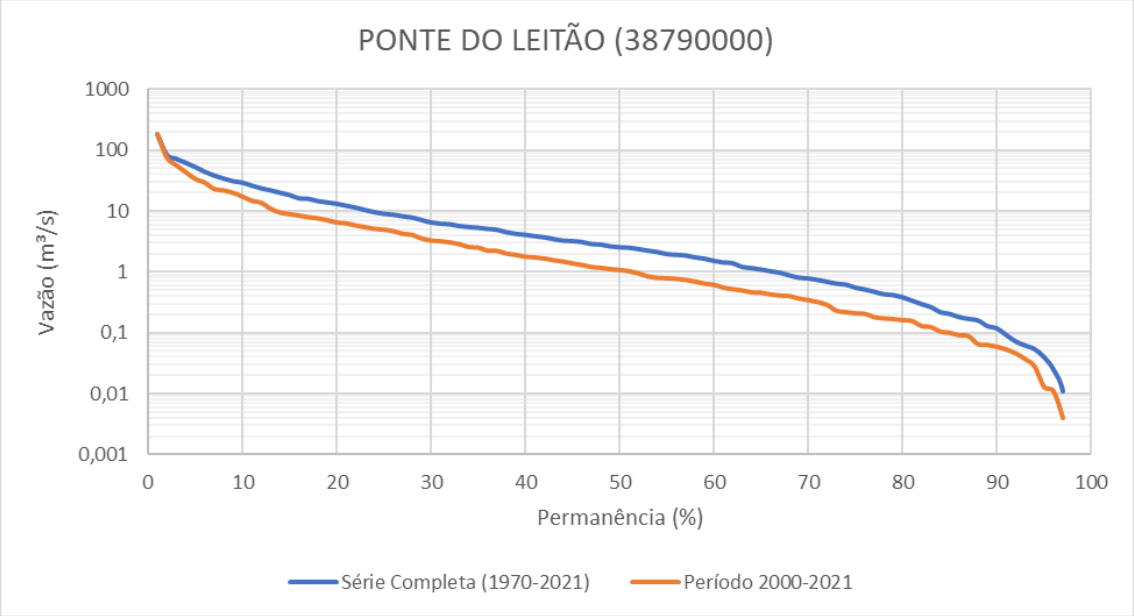


Figura 2.57 – Curva de permanência de vazões da estação Ponte do Leitão (38790000) localizada no Rio Mamanguape, na bacia do Rio Mamanguape.

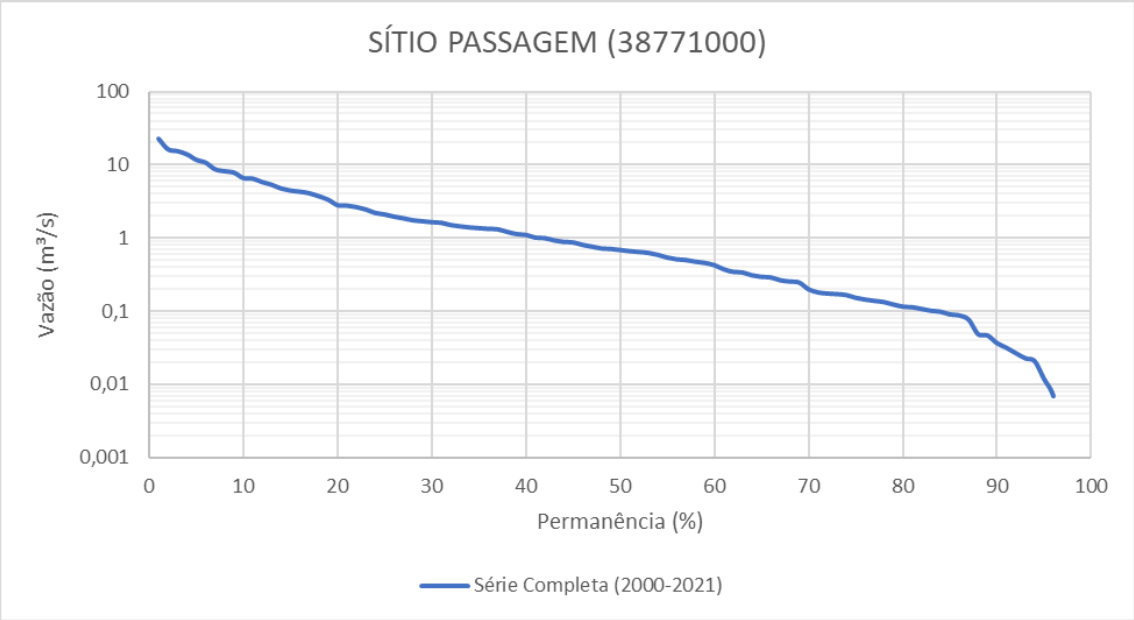


Figura 2.58 – Curva de permanência de vazões da estação Sítio Passagem (38771000) localizada no Rio Aracají, na bacia do Rio Mamanguape.

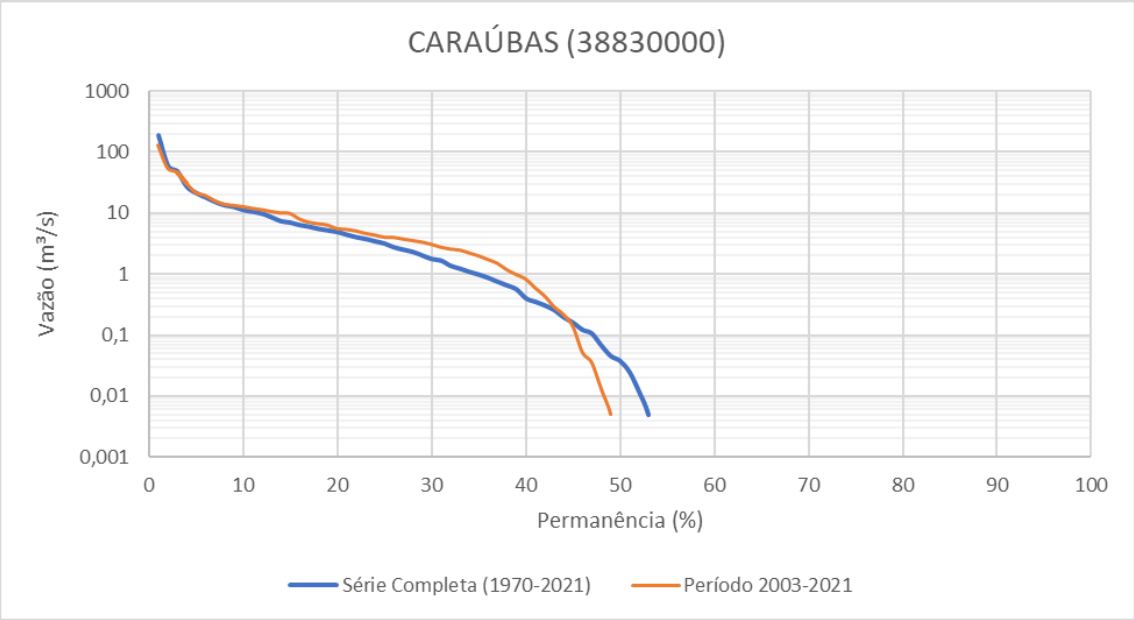


Figura 2.59 – Curva de permanência de vazões da estação Caraúbas (38830000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Alto Rio Paraíba.

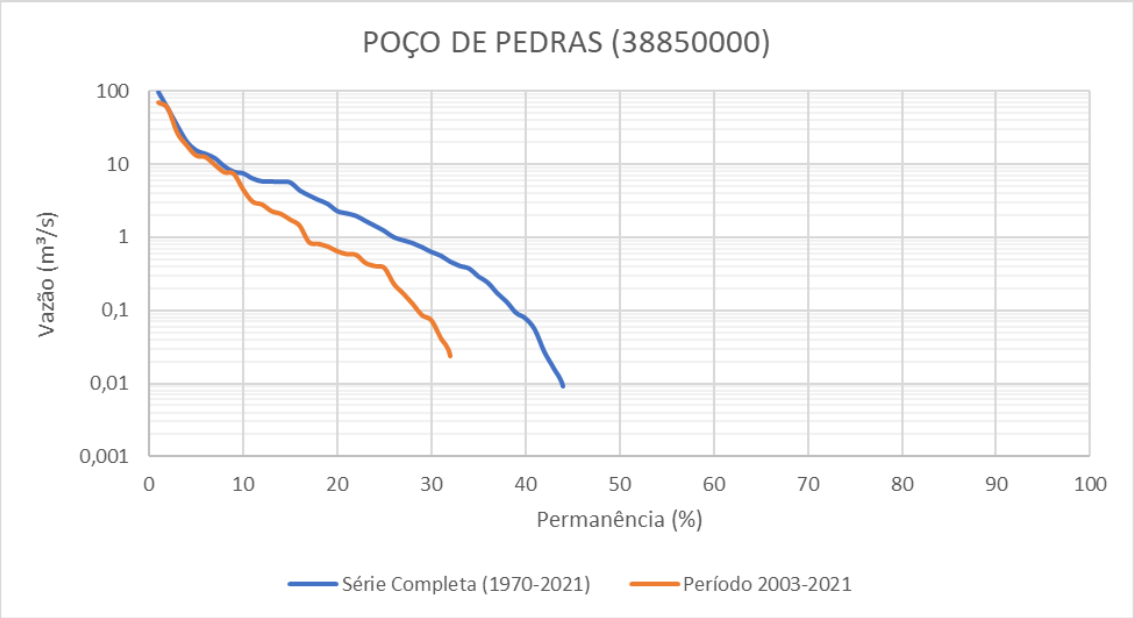


Figura 2.60 – Curva de permanência de vazões da estação Poço de Pedras (38850000) localizada no Rio Taperoá, na bacia do Rio Taperoá, região do Alto Rio Paraíba.

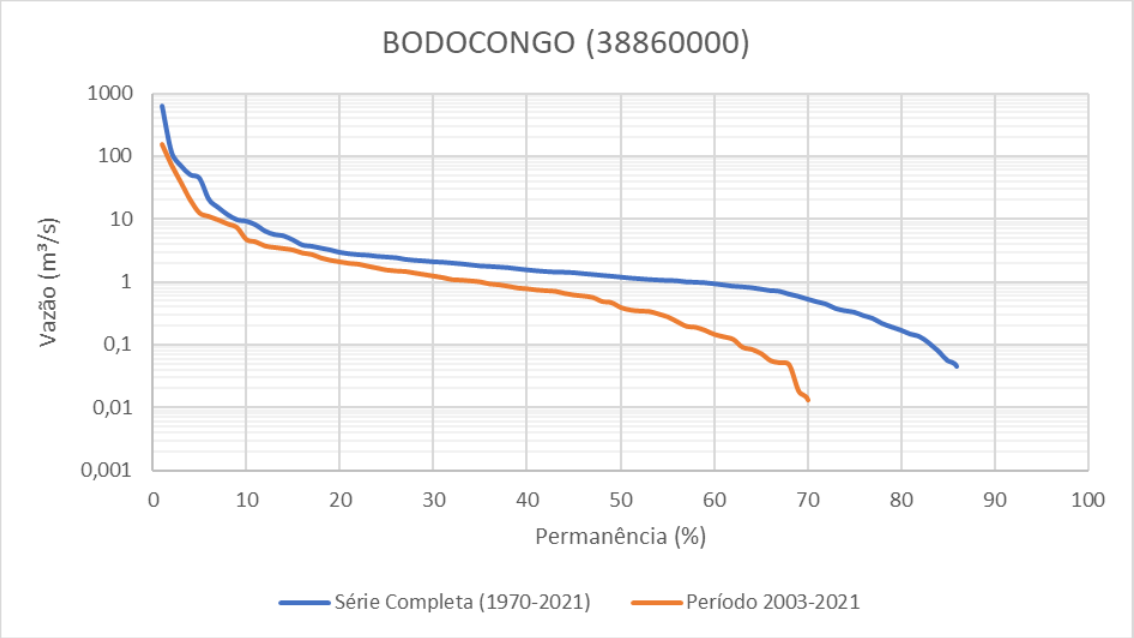


Figura 2.61 – Curva de permanência de vazões da estação Bodocongo (38860000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Médio Rio Paraíba.

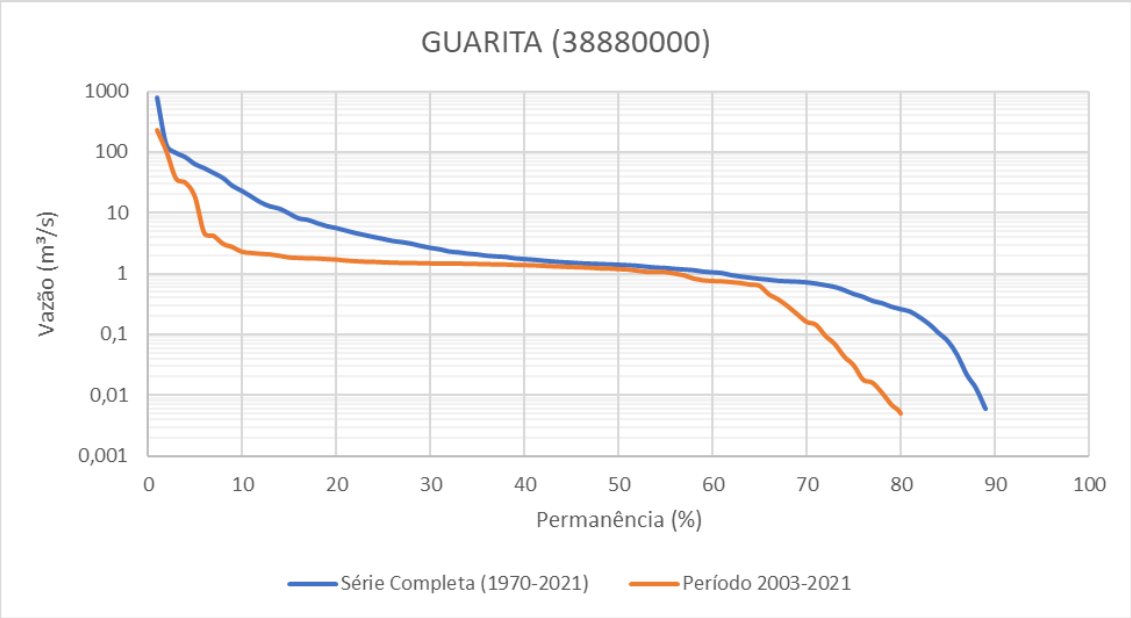


Figura 2.62 – Curva de permanência de vazões da estação Guarita (38880000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Baixo Rio Paraíba.

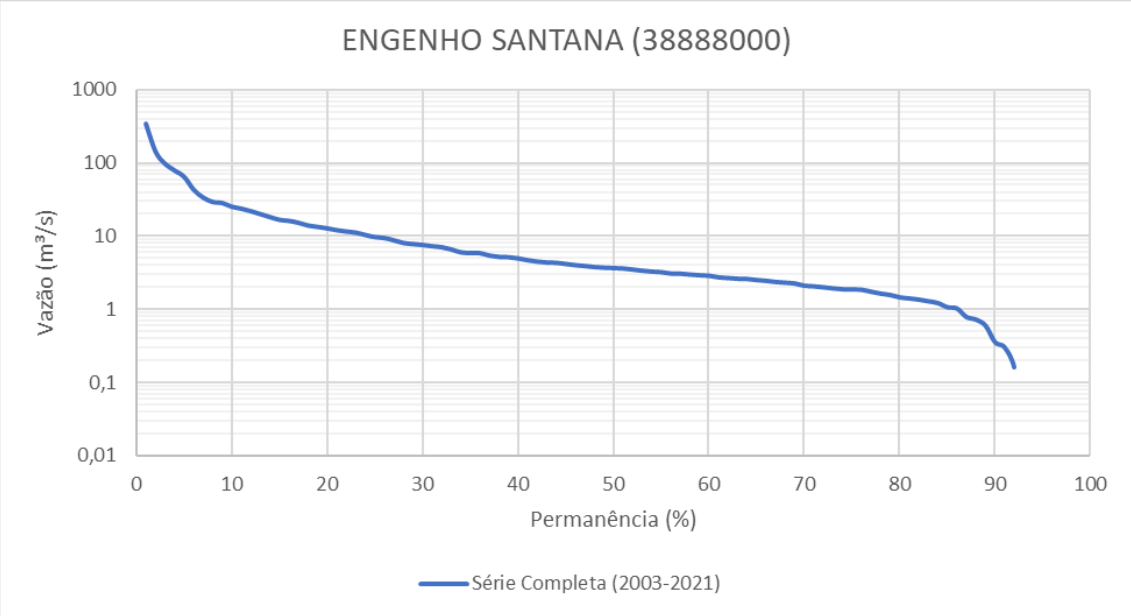


Figura 2.63 – Curva de permanência de vazões da estação Engenho Santana (38888000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Baixo Rio Paraíba.

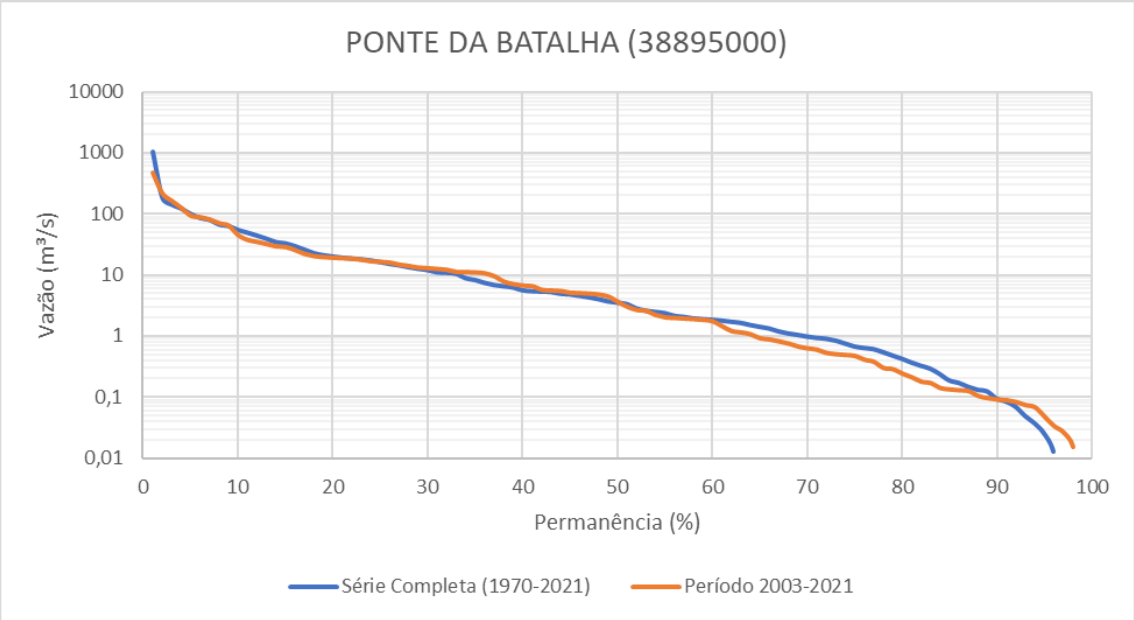


Figura 2.64 – Curva de permanência de vazões da estação Ponte da Batalha (38895000) localizada no Rio Paraíba, na bacia do Baixo Rio Paraíba.

O Quadro 2.33 e o Quadro 2.34 apresentam um resumo das vazões características no local das estações fluviométricas analisadas. O primeiro quadro apresenta as vazões características calculadas para as estações com dados disponíveis entre 1970 e 2021; e o segundo quadro apresenta as vazões características calculadas para todas as estações, considerando um período mais recente de dados (2000 a 2021).

Quadro 2.33 – Vazões características no local das estações fluviométricas, considerando o período de dados entre 1970 e 2021.

Estação	Rio	Área (km²)	Período	Unidade	Qmlp	Q50	Q90	Q95	Q98	Q99	Q7,10
MULUNGU (38750000)	Rio Mamanguape	875	1973-2021	m³/s	3,584	0,822	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
				L/s.km²	4,096	0,939	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
PONTE DO LEITÃO (38790000)	Rio Mamanguape	2950	1973-2021	m³/s	11,628	2,490	0,101	0,038	0,001	0,000	0,020
				L/s.km²	3,942	0,844	0,034	0,013	0,000	0,000	0,007
CARAÚBAS (38830000)	Rio Paraíba	5030	1970-2021	m³/s	5,219	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
				L/s.km²	1,037	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
POÇO DE PEDRAS (38850000)	Rio Taperoá	3180	1970-2021	m³/s	3,289	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
				L/s.km²	1,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BODOCONGO (38860000)	Rio Paraíba	13700	1970-2021	m³/s	9,206	1,190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022
				L/s.km²	0,672	0,087	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
GUARITA (38880000)	Rio Paraíba	17400	1970-2021	m³/s	13,481	1,410	0,003	0,000	0,000	0,000	0,014
				L/s.km²	0,775	0,081	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
PONTE DA BATALHA (38895000)	Rio Paraíba	19000	1970-2021	m³/s	23,499	3,570	0,096	0,026	0,000	0,000	0,003
				L/s.km²	1,237	0,188	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000

Quadro 2.34 – Vazões características no local das estações fluviométricas, considerando o período de dados entre 2000 e 2021.

Estação	Rio	Área (km²)	Período	Unidade	Qmlp	Q50	Q90	Q95	Q98	Q99	Q7,10
FAZENDA ALMAS (38690000)	Rio Guaju	52	2008-2022	m³/s	0,836	0,750	0,570	0,538	0,518	0,512	0,447
				L/s.km²	16,077	14,423	10,962	10,346	9,962	9,846	8,596
MULUNGU (38750000)	Rio Mamanguape	875	2000-2021	m³/s	3,053	0,276	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
				L/s.km²	3,490	0,315	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SÍTIO PASSAGEM (38771000)	Rio Aracají	908	2000-2021	m³/s	3,100	0,686	0,037	0,012	0,000	0,000	0,002
				L/s.km²	3,415	0,756	0,041	0,013	0,000	0,000	0,002
PONTE DO LEITÃO (38790000)	Rio Mamanguape	2950	2000-2021	m³/s	8,148	1,070	0,059	0,013	0,001	0,000	0,026
				L/s.km²	2,762	0,363	0,020	0,004	0,000	0,000	0,009
CARAÚBAS (38830000)	Rio Paraíba	5030	2003-2021	m³/s	4,774	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
				L/s.km²	0,949	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
POÇO DE PEDRAS (38850000)	Rio Taperoá	3180	2003-2021	m³/s	2,404	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
				L/s.km²	0,756	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
BODOCONGO (38860000)	Rio Paraíba	13700	2003-2021	m³/s	3,814	0,385	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
				L/s.km²	0,278	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GUARITA (38880000)	Rio Paraíba	17400	2003-2021	m³/s	6,169	1,180	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061
				L/s.km²	0,355	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
ENGENHO SANTANA (38888000)	Rio Paraíba	18900	2003-2021	m³/s	14,950	3,640	0,353	0,000	0,000	0,000	0,179
				L/s.km²	0,791	0,193	0,019	0,000	0,000	0,000	0,009
PONTE DA BATALHA (38895000)	Rio Paraíba	19000	2003-2021	m³/s	23,123	3,620	0,090	0,047	0,015	0,002	0,009
				L/s.km²	1,217	0,191	0,005	0,002	0,001	0,000	0,000

A partir dos resultados obtidos para as estações fluviométricas, foi estimado o potencial de geração de escoamento (L/s.km²) das bacias hidrográficas em termos de vazão média (Q_{mlp}) e vazão mínima (Q_{95}).

Para as bacias dos rios Mamanguape e Paraíba, realizou-se uma tentativa de criar curvas de regionalização de vazão. Contudo, os ajustes realizados para as vazões mínimas não foram satisfatórios devido a dinâmica hidrológica caracterizada pela intermitência do escoamento desses rios. Dessa forma, para essas bacias foram atribuídas as vazões específicas da estação fluviométrica localizada mais a jusante, ou seja, mais próxima da foz da bacia e dentro da área do SAPP, sendo para a bacia do Rio Mamanguape a estação Ponte do Leitão (38790000) e para a bacia do Rio Paraíba, a estação Ponte da Batalha (38895000). Para a bacia do rio Guaju foram atribuídas as vazões específicas da estação Fazendas Almas (38690000).

Para as bacias sem dados de monitoramento disponíveis foi realizada a transferência de informação de bacias vizinhas, considerando-se características fisiográficas e regime pluviométrico semelhantes. As bacias dos rios Camaratuba e Miriri, por exemplo, detém as mesmas características da porção baixa da sua bacia vizinha, o Rio Mamanguape. São bacias de característica alongada e de mesma declividade média, além de estarem sujeitas ao mesmo regime pluviométrico na sua porção inserida no SAPP. Dessa forma, atribuiu-se para essas bacias as mesmas vazões específicas da bacia do Rio Mamanguape.

Já, as bacias dos rios Gramame e Abiaí, caracterizam-se por serem bacias de menor área de drenagem, localizadas totalmente na área litorânea, sujeitas a volumes maiores de precipitação anual. Dessa forma, para essas bacias, atribuiu-se as mesmas vazões específicas da bacia do Rio Guaju.

As vazões específicas das bacias hidrográficas na área do SAPP são apresentadas no Quadro 2.35 e na Figura 2.65, para a Q_{mlp} e Q_{95}. A bacia do rio Guaju, representada pela estação Fazenda Almas (38690000), destacou-se com os maiores valores de vazões específicas, indicando uma maior capacidade de produção de escoamento por unidade de área nessa bacia. Já, a sub-bacia do rio Paraíba, representada pela estação

Ponte da Batalha (38895000), apresentou baixas vazões específicas, indicando uma baixa capacidade de produção de escoamento da bacia.

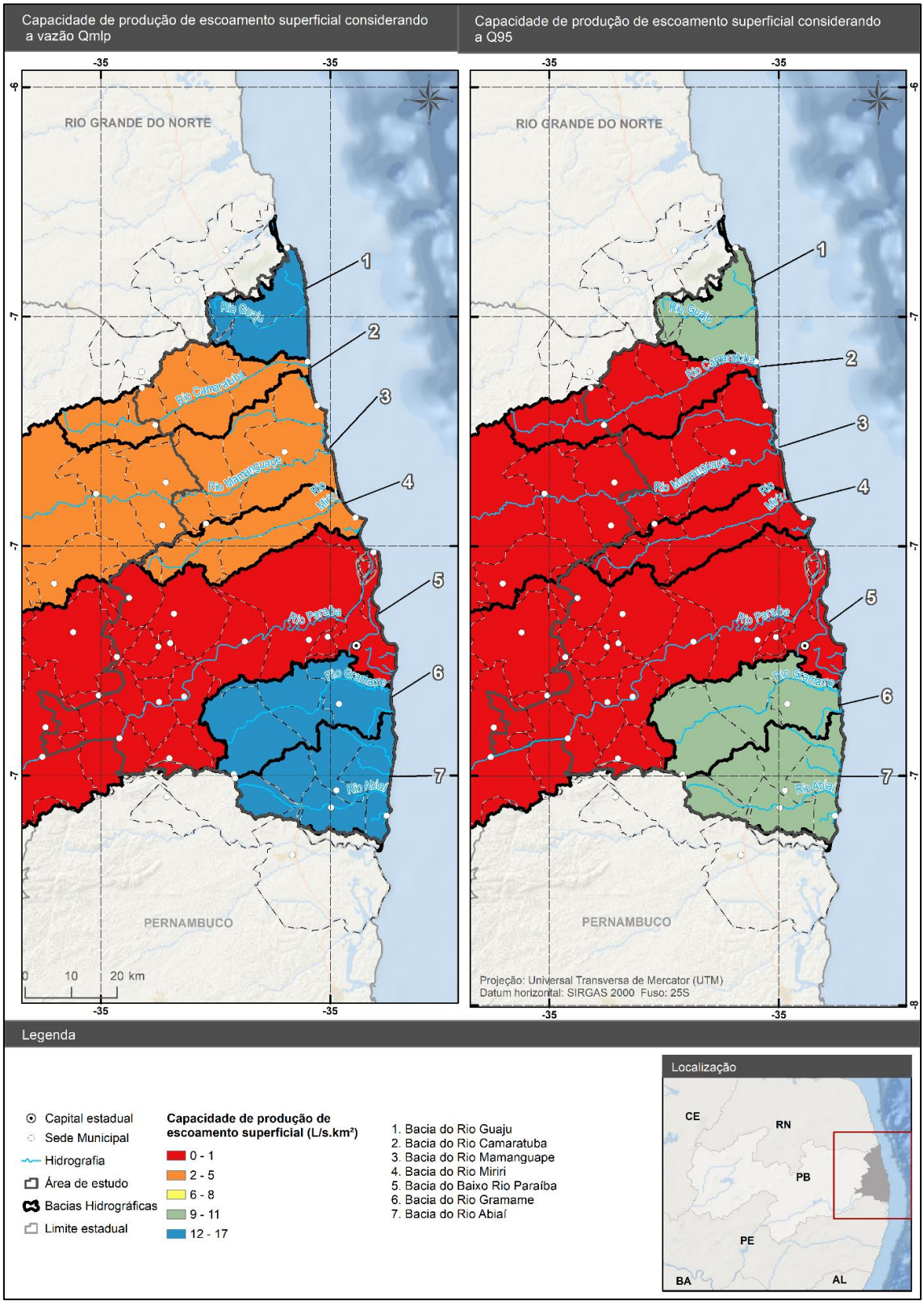


Figura 2.65 – Vazões específicas das bacias hidrográficas do SAPP.

Quadro 2.35 – Vazões específicas das bacias hidrográficas do SAPP.

Bacia	Vazão específica (L/s.km²)						
	Q_{mlp}	Q_{50}	Q_{90}	Q_{95}	Q_{98}	Q_{99}	$Q_{7,10}$
Rio Guaju	16,08	14,42	10,96	10,35	9,96	9,85	8,60
Rio Camaratuba	3,94	0,84	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
Rio Mamanguape	3,94	0,84	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
Rio Miriri	3,94	0,84	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
Rio Paraíba	1,24	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Rio Gramame	16,08	14,42	10,96	10,35	9,96	9,85	8,60
Rio Abiaí	16,08	14,42	10,96	10,35	9,96	9,85	8,60

Por fim, foi analisada a evolução temporal dos perfis transversais dos rios com dados disponíveis. Foi identificada a existência de perfil transversal para os rios Guaju, Mamanguape e Paraíba, sendo uma seção para o Rio Guaju, duas para o Rio Mamanguape e cinco para o Rio Paraíba.

A Figura 2.66 apresenta a evolução do perfil transversal do Rio Guaju, no local da estação Fazenda Almas (38690000). Percebe-se uma evolução da deposição de sedimentos na sua margem esquerda e de erosão da sua margem direita com o avanço do tempo.

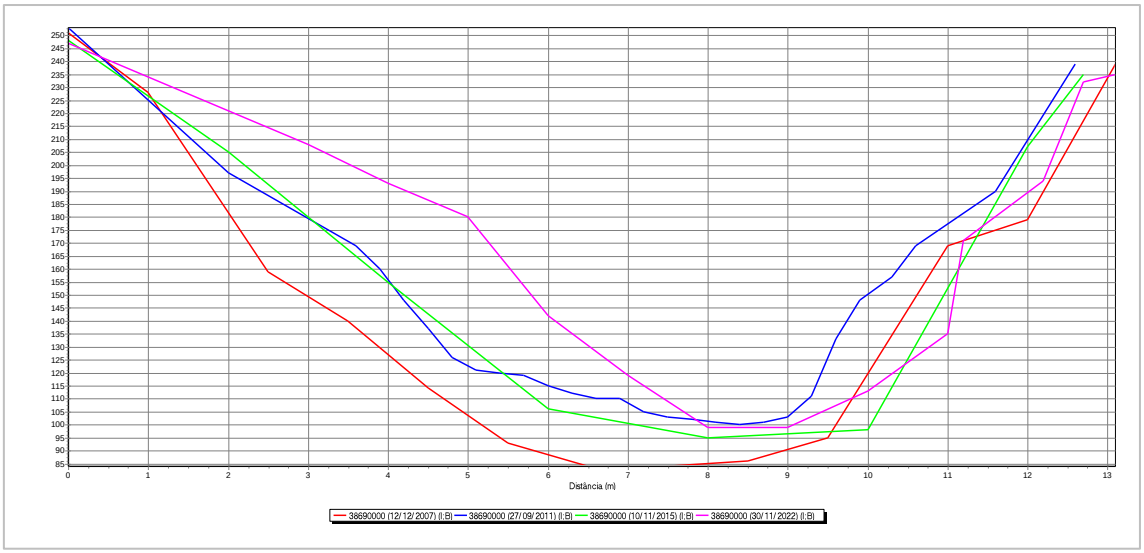


Figura 2.66 – Evolução temporal do perfil transversal do Rio Guaju, no local da estação Fazenda Almas (38690000).

A Figura 2.67 apresenta o perfil transversal de duas seções distintas do rio Mamanguape, a primeira em vermelho no local da estação Mulungu (38750000) e a segunda em azul no local da estação Ponte do Leitão (38790000). Percebe-se que o

Rio Mamanguape, no local da estação Mulungu (38750000), a montante da área de estudo, apresenta um perfil mais aberto enquanto no local da estação Ponte do Leitão (38790000), já dentro da área de estudo, o rio apresenta um perfil mais encaixado.

Além disso, conforme pode-se verificar na Figura 2.68, a seção transversal a montante da área de estudo apresenta alteração constante do seu perfil relacionada a deposição de sedimentos. No último ano com dados disponível é possível perceber a formação de uma ilha no meio da seção. Já na Figura 2.69 percebe-se que a seção a jusante, dentro da área de estudo do SAPP não apresenta alteração significativa do seu perfil transversal ao longo dos anos.

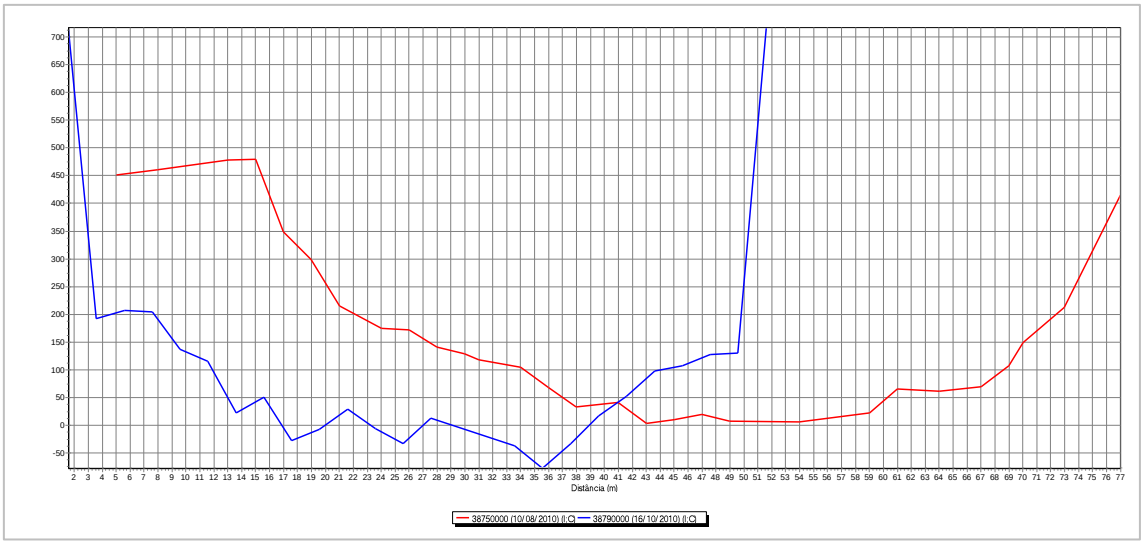


Figura 2.67 – Comparação entre duas seções transversais distintas do Rio Mamanguape.

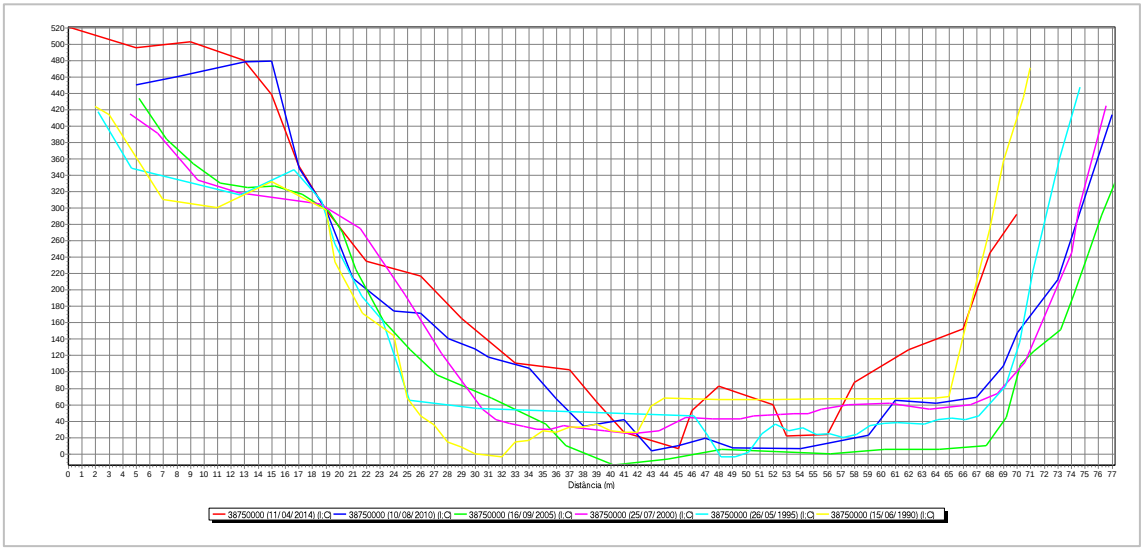


Figura 2.68 – Evolução temporal do perfil transversal do Rio Mamanguape, no local da estação Mulungu (38750000).

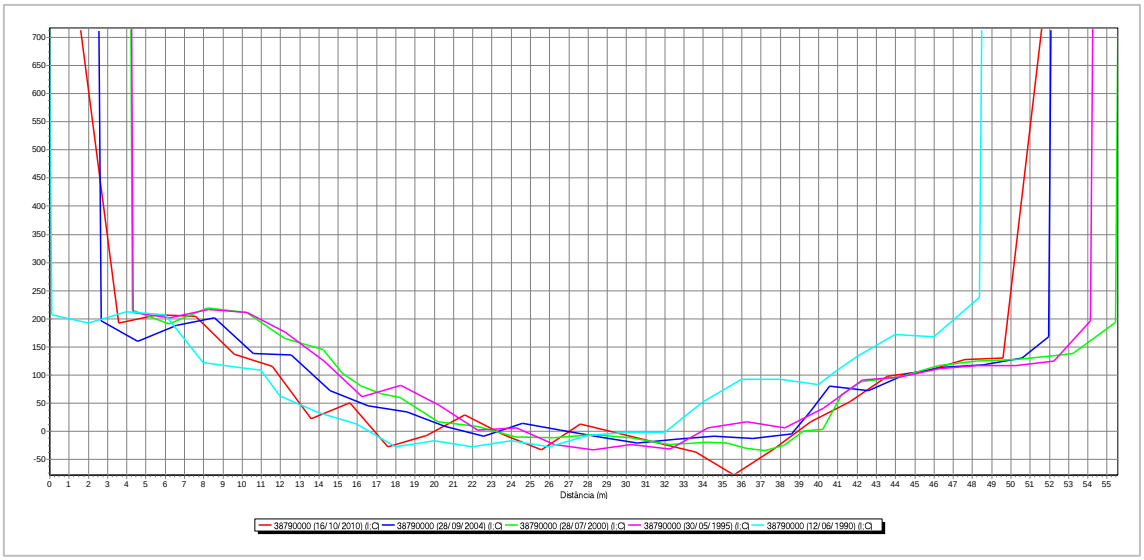


Figura 2.69 – Evolução temporal do perfil transversal do Rio Mamanguape, no local da estação Ponte do Leitão (38790000).

A Figura 2.70 apresenta o perfil transversal de cinco seções distintas do rio Paraíba. Em vermelho a seção localizada no Alto Rio Paraíba, no local da estação Caraúbas (38830000) e em ciano a seção no Baixo Rio Paraíba, no local da estação Ponte da Batalha (38895000), já dentro da área do SAPP. Assim como para a bacia do Rio Mamanguape, percebe-se que na parte alta da bacia, as seções apresentam um perfil mais aberto enquanto na parte mais baixa da bacia, o rio apresenta um perfil mais encaixado.

Conforme pode-se observar na Figura 2.71 e na Figura 2.72 nas porções Alta e Média do Rio Paraíba, a seção transversal não aparenta sofrer grandes modificações ao longo do tempo. Esse comportamento pode estar relacionado a baixa vazão que passa em sua calha principal, condicionada pelas defluências dos açudes e reservatórios localizados na bacia. Já na porção Baixa da bacia do Rio Paraíba (Figura 2.72), percebe-se entre 1990 e 2002 a deposição de sedimentos no interior do leito do rio, mas que a partir de 2007 passa a não existir mais, possivelmente devido a precipitação acumulada entre 2002 e 2004 e ao pico de vazão registrado na estação em 2004.

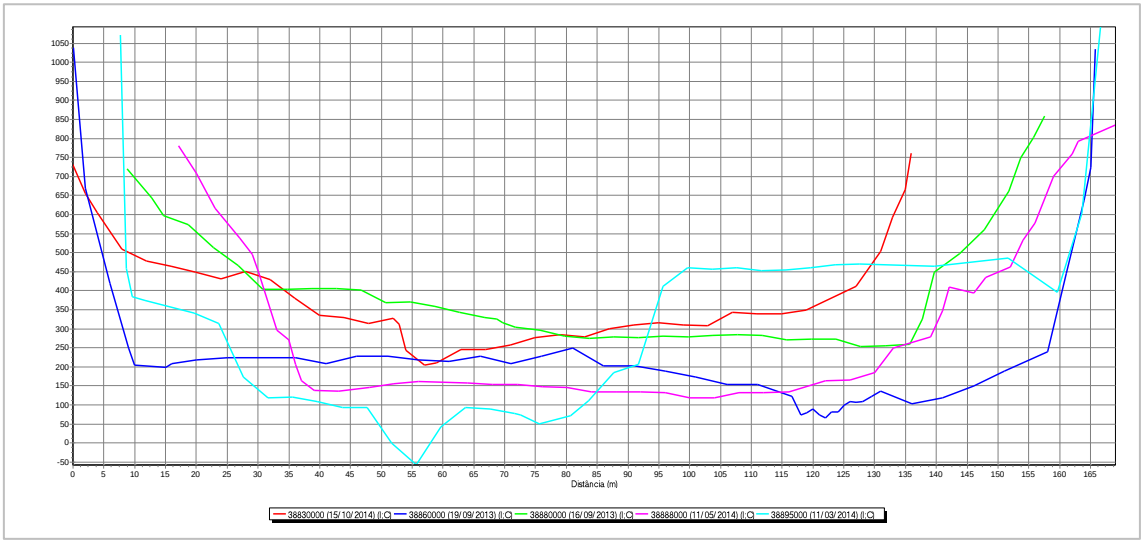


Figura 2.70 – Comparação entre cinco seções transversais distintas do Rio Paraíba.

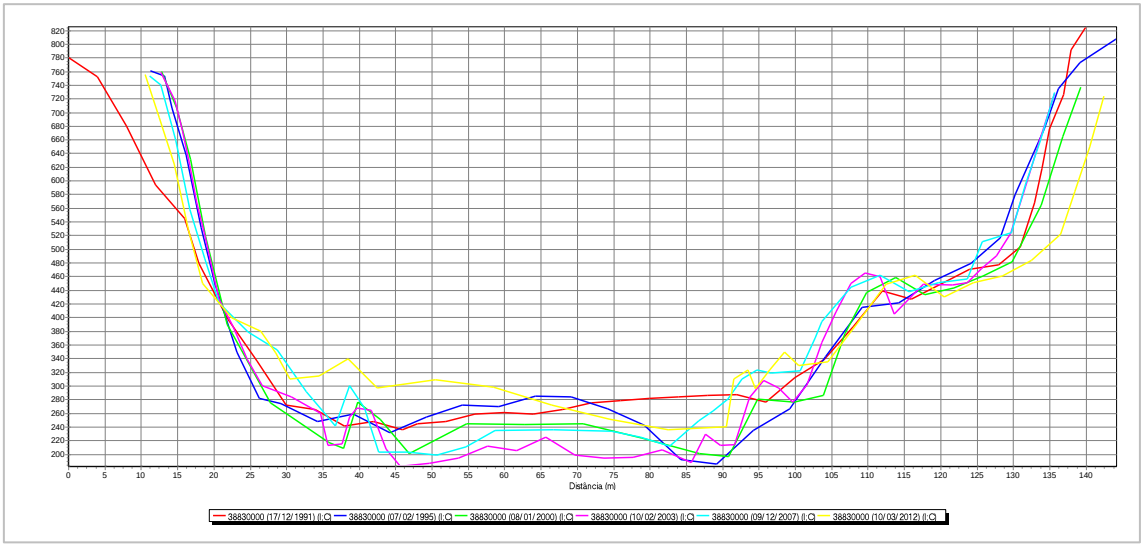


Figura 2.71 – Evolução temporal do perfil transversal no Alto Rio Paraíba, no local da estação Caraúbas (38830000).

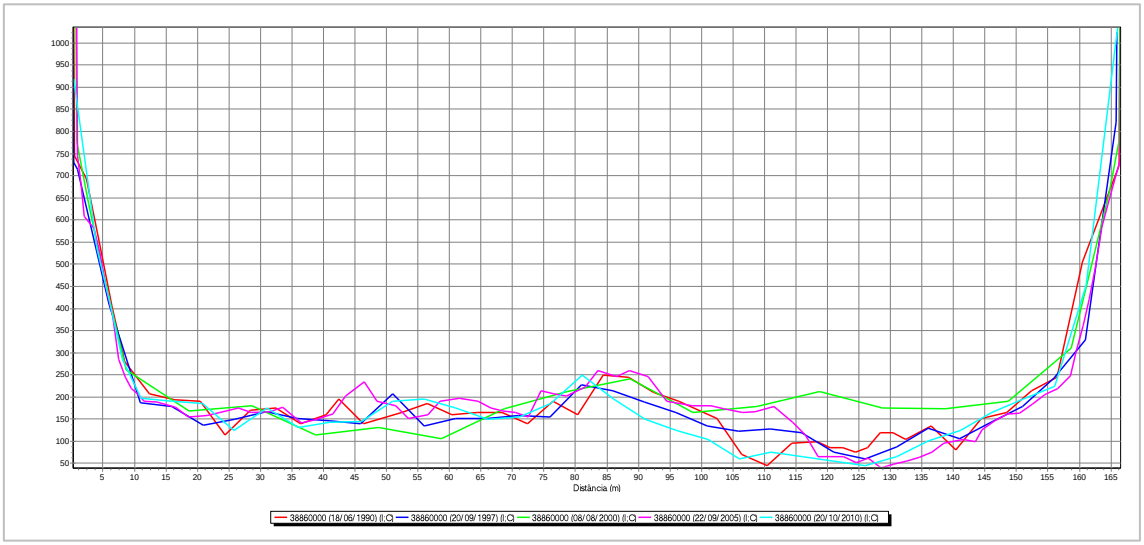


Figura 2.72 – Evolução temporal do perfil transversal no Médio Rio Paraíba, no local da estação Bodocongo (38860000).

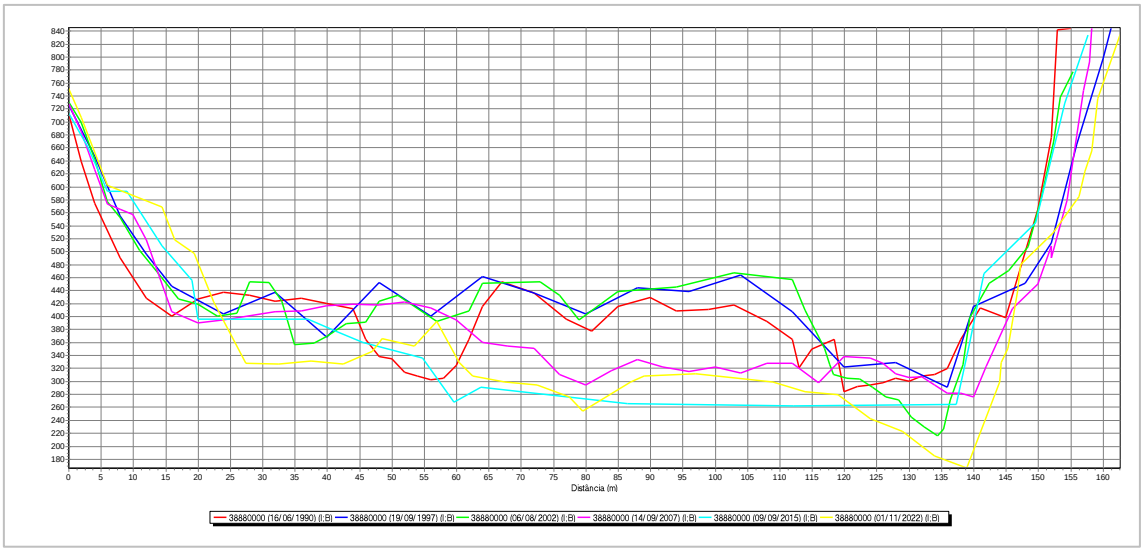


Figura 2.73 – Evolução temporal do perfil transversal no Baixo Rio Paraíba, no local da estação Guarita (38880000).

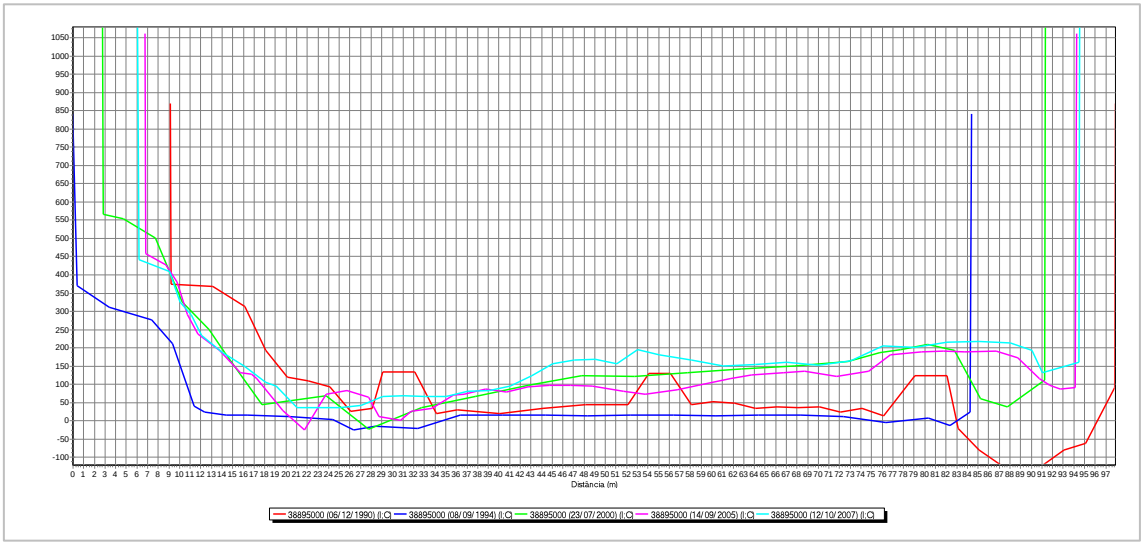


Figura 2.74 – Evolução temporal do perfil transversal no Baixo Rio Paraíba, no local da estação Ponte da Batalha (38895000).

2.2.5.6 Caracterização do escoamento subterrâneo

Além da estimativa das vazões da curva de permanência, que podem ser utilizadas para distinguir e quantificar a contribuição do escoamento subterrâneo em períodos de estiagem com base nas séries históricas das estações fluviométricas, foi realizado o procedimento de separação dos escoamentos de hidrogramas através da aplicação de filtros numéricos.

O procedimento de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo consiste, essencialmente, na estruturação de um algoritmo, a partir da qual é possível construir um hidrograma com aplicação de filtros numéricos para cada ano hidrológico, utilizando-se os registros das descargas. São identificados os períodos de recessão para as estações e calculado o melhor valor para as constantes de ajustamento dos tipos de materiais existentes na bacia em análise e, por fim, realizada a separação dos escoamentos subterrâneo e superficial.

A interpretação do período de recessão utilizando técnicas gráficas foi introduzida por Barnes (1939), sendo aplicada para a separação entre os diferentes componentes do fluxo. Atualmente são utilizados filtros matemáticos para análise de hidrogramas mais extensos, que registram um ano ou mais de monitoramento da vazão. Nesse estudo foram utilizados filtros matemáticos utilizando os estudos apresentados por Lyne e

Hollick (1979), Chapman (1991), Chapman e Maxwell (1996), Eckhardt (2005; 2008), e Collischonn e Fan (2013).

De modo geral, é possível identificar três regiões principais em um hidrograma (Figura 2.75), a saber: i) curva de concentração ou acumulação (de B para C), resultante da pluviosidade e porção onde se verifica o aumento da vazão em função do escoamento superficial; ii) vazão máxima ou pico de cheia (C), que reflete a maior concentração da precipitação na bacia e iii) a curva de recessão ou depleção (de C para E), que assinala o fim do escoamento superficial e marca o instante em que o escoamento subterrâneo passa a responder pela totalidade da vazão do curso d'água.

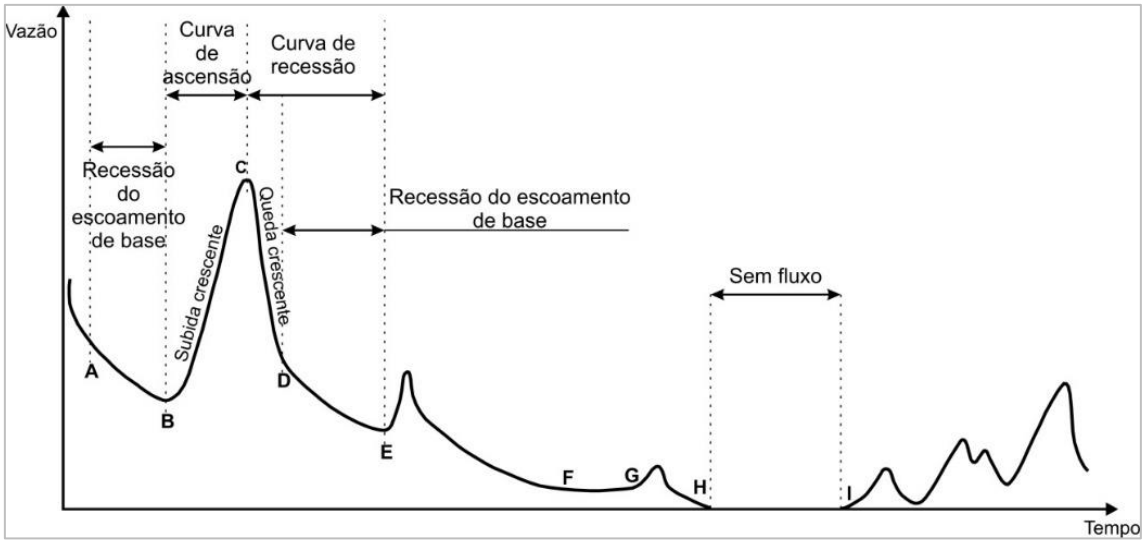


Figura 2.75 – Hidrograma com períodos representativos de sazonalidades e padrões comportamentais.

A associação do fluxo subterrâneo calculado a partir do hidrograma com a recarga é uma aproximação decorrente do princípio que a descarga do aquífero é linearmente proporcional ao seu armazenamento, o que se mostra válido para condições de estiagem na maior parte dos rios do mundo. Nos períodos de estiagem, a curva de recessão pode ser aproximada para uma exponencial decrescente, sendo representada pela Equação 2:

$$Q_{(t)} = Q_0 \times e^{\frac{-t}{k}}$$ Equação 2

Onde “t” é o tempo, “Q0” representa a vazão em um instante “t0”, “Q(t)” é a vazão no instante “t”, e é a base dos logaritmos naturais e “k” é a constante, em unidade de tempo (FREEZE e CHERRY, 1979; COLLISCHON e TASSI, 2008).

Para cada ano hidrológico, portanto, foi calculado um valor para “-1/k”. Este cálculo foi realizado a partir da aproximação da curva no período de recessão com uma curva de tendência exponencial, conforme pode ser visto abaixo (Figura 2.76).

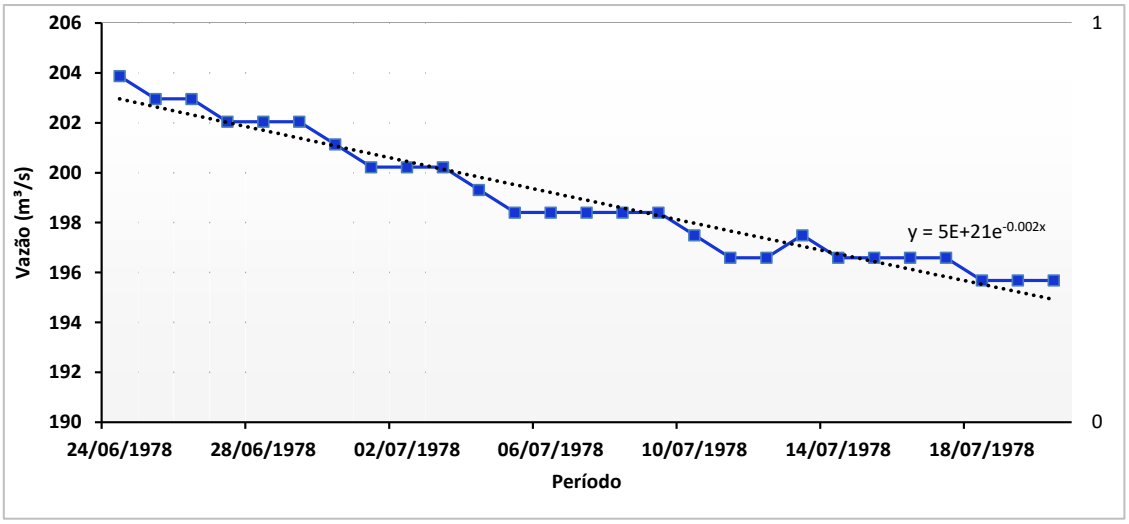


Figura 2.76 – Valor de -1/k a partir da curva exponencial referente ao período de recessão (constante y) do hidrograma.

Os filtros numéricos permitem separar, de modo aproximado, as componentes superficial e subterrânea de um hidrograma. Para tanto, supõe-se que a vazão total de um hidrograma (y) em um intervalo de tempo (i) é formada pelas componentes escoamento superficial (f) e escoamento subterrâneo (b), conforme a Equação 3:

$$y_i = f_i + b_i$$ Equação 3

Onde (i) representa o intervalo de tempo adotado. Considerando a existência de uma relação linear em períodos de estiagem entre o armazenamento de água nos aquíferos e a vazão, pode-se adotar para os períodos sem recarga do aquífero a seguinte equação:

$$b_{i+1} = b_i \times e^{\frac{-\Delta t}{k}}$$ Equação 4

onde que “k” é a constante e “Δt” é o tamanho do intervalo de tempo entre “i” e “i+1”. Esta mesma equação também pode ser expressa por:

$$b_{i+1} = b_i \times a$$ Equação 5

onde,

$$a = e^{\frac{-\Delta t}{k}}$$ Equação 6

Uma forma de estimar o valor de “bi” para cada intervalo de tempo “i” foi proposta por Lyne e Hollick (1979) e posteriormente modificada por Chapman (1991) e simplificada em 1996 por Chapman e Maxwell (e.g., ECKHARDT, 2005):

$$b_i = \frac{a}{2-a} \times b_{i-1} + \frac{1-a}{2-a} \times y_i$$ Equação 7

Se a aplicação desta equação resultar em um valor “bi > yi”, então “bi = yi”.

O filtro acima foi denominado neste estudo como “Filtro A”. Eckhardt (2005), a partir da Equação 7, formulou um filtro com dois parâmetros, a e “BFimax” (“Filtro B”):

$$b_i = \frac{(1 - BFi_{max}) \times a \times b_{i-1} + (1-a) \times BFi_{max} \times y_i}{1 - a \times BFi_{max}}$$ Equação 8

Como no caso anterior, limitado a valores “bi” menores ou iguais a “yi”. O “BFimax” é o máximo percentual de escoamento subterrâneo que o filtro permite calcular, e pode ser estimado ao se estender a curva de recessão, de trás para frente no tempo:

$$b_i = \frac{b_{i+1}}{a}$$ Equação 9

Limitado a valores “bi” menores ou iguais a “yi”, como nos casos anteriores. A partir da aplicação da recessão inversa (COLLISCHONN e FAN, 2013), obtém-se um hidrograma “r” cujos valores são utilizados para o cálculo do “BFimax”, pela fórmula:

$$BFi_{max} \approx \frac{\sum_{i=1}^{N} r_i}{\sum_{i=1}^{N} y_i}$$ Equação 10

Onde “N” representa o número de intervalos de tempo do hidrograma. Os filtros A e B se igualam caso “BFimax” corresponda a 0,5. Entretanto, o filtro B permite uma análise mais detalhada do hidrograma, especialmente quando é utilizada a metodologia de Collischonn e Fan (2013) para a determinação de “BFimax”.

No presente estudo, foi utilizado o filtro que permite uma análise mais detalhada do hidrograma para o cálculo da parcela do escoamento subterrâneo devido à sua maior aderência ao hidrograma nos períodos de recessão. No Quadro 2.36 são apresentados os valores de “k” e “BFImax” utilizados para aplicação dos filtros matemáticos de separação dos escoamentos e determinados por meio de calibração e a proporção do fluxo de base obtido em relação à vazão total monitorada para as estações fluviométricas próximas a área do SAPP.

Quadro 2.36 – Valores de k e BFImax utilizados para aplicação dos filtros matemáticos de separação dos escoamentos e proporção do fluxo de base obtido em relação à vazão total monitorada.

Estação fluviométrica	Área (km²)	k	BFImax	Percentual médio (%) de água subterrânea em relação à vazão total monitorada
Fazenda Almas (38690000)	52	0,80	0,9	82%
Mulungu (38750000)	875	0,65	0,9	58%
Sítio Passagem (38771000)	908	0,65	0,9	57%
Ponte do Leitão (38790000)	2.950	0,65	0,9	64%
Guarita (38880000)	17.400	0,70	0,9	62%
Engenho Santana (38888000)	18.900	0,70	0,9	67%
Ponte da Batalha (38895000)	19.000	0,70	0,9	69%

De acordo com os resultados médios da análise dos hidrogramas (Figura 2.77 até a Figura 2.83), os valores de escoamento subterrâneo variam em média entre 57% e 82% em relação à vazão medida nos pontos de monitoramento, essa variação refere-se a uma média percentual relativa à vazão monitorada. O maior aporte subterrâneo (em relação à vazão total monitorada) ocorre junto a sub-bacia do rio Guaju, conforme

indicam os valores estimados pela estação Fazenda Almas (82%). Os menores percentuais de escoamento de base ocorrem nas sub-bacias do rio Mamanguape, estação Sítio Passagem (57%) e estação Mulungu (58%), localizadas a montante da área do SAPP. Dentre as sete estações avaliadas, seis delas apresentam valores de escoamento subterrâneo variando no intervalo de 55% e 70% em relação à vazão total. A média percentual da descarga de base encontrada dentre todas as sete estações analisadas corresponde a 66% das vazões totais monitoradas nos cursos d'água, evidenciando a importância do escoamento de base na formação da vazão total dos cursos d'água.

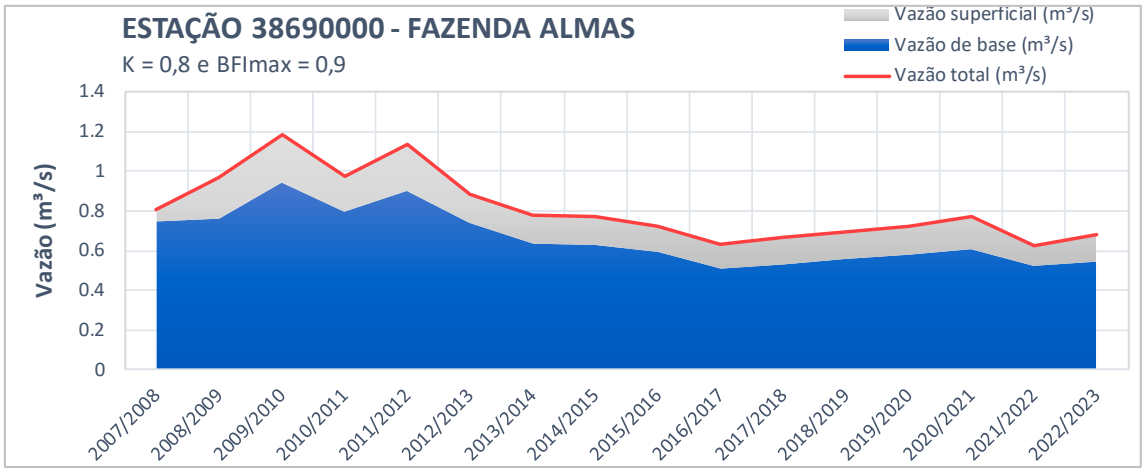


Figura 2.77 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Fazenda Almas (38690000).

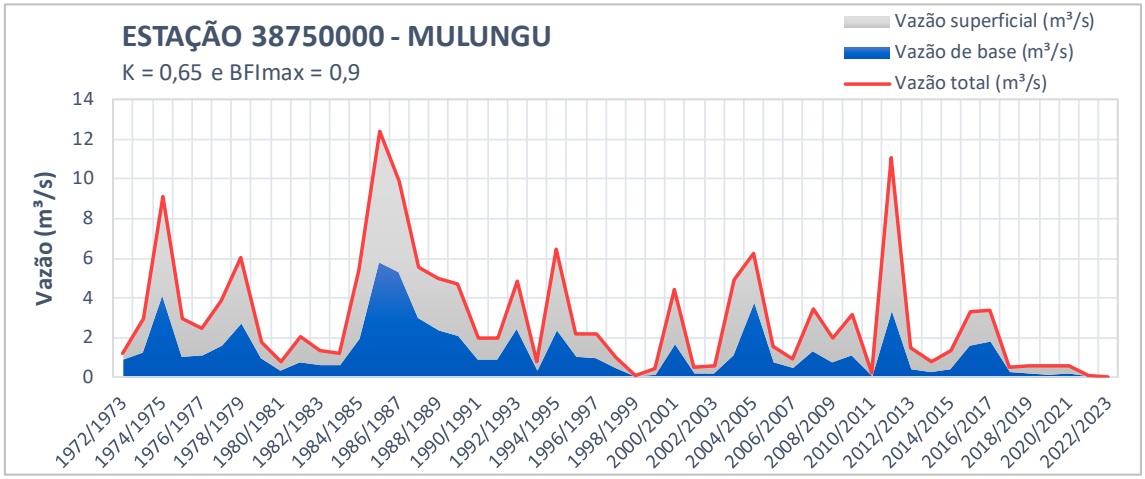


Figura 2.78 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Mulungu (38750000).

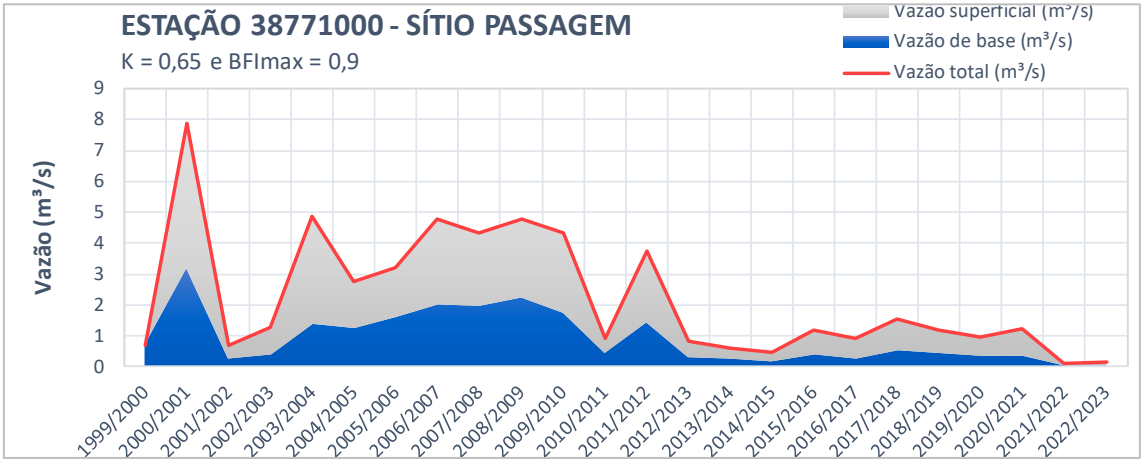


Figura 2.79 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Sítio Passagem (38771000).

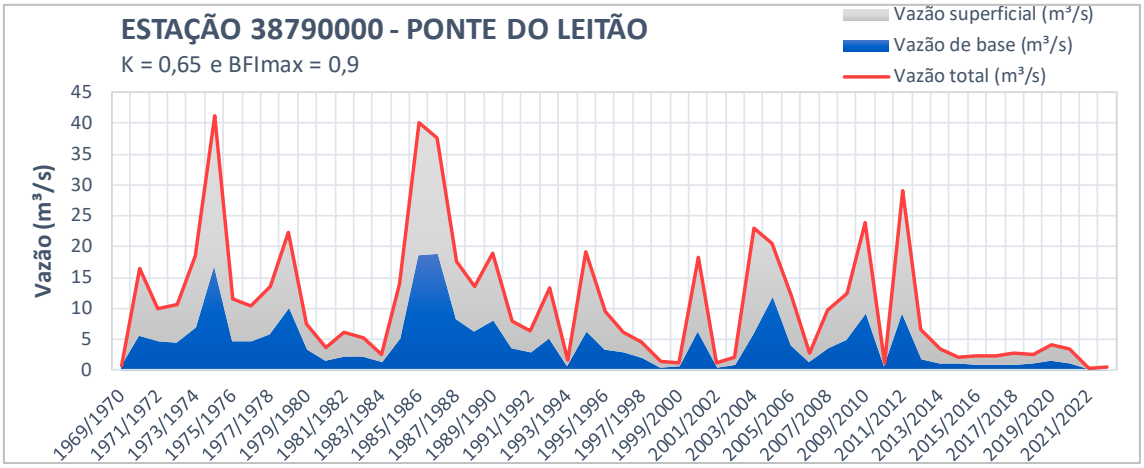


Figura 2.80 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Ponte do Leitão (38790000).

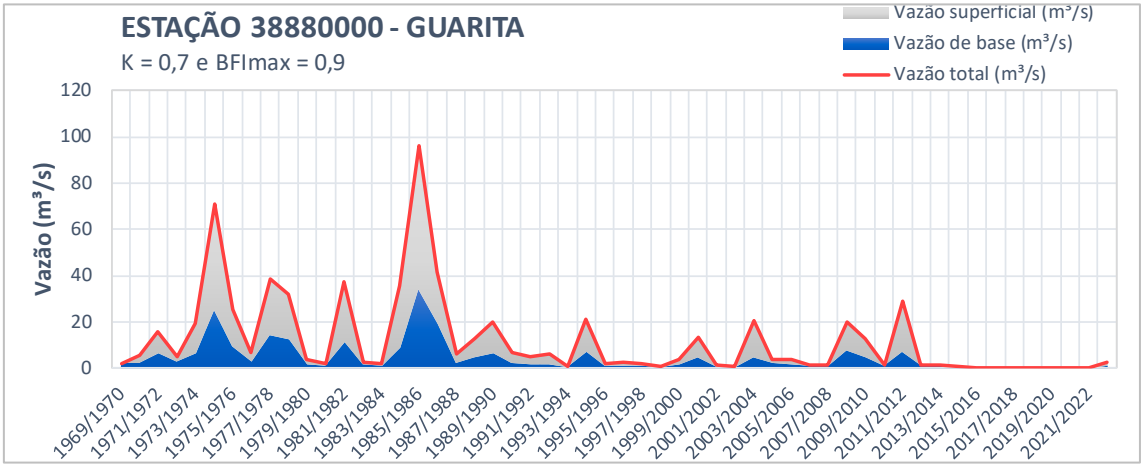


Figura 2.81 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Guarita (38880000).

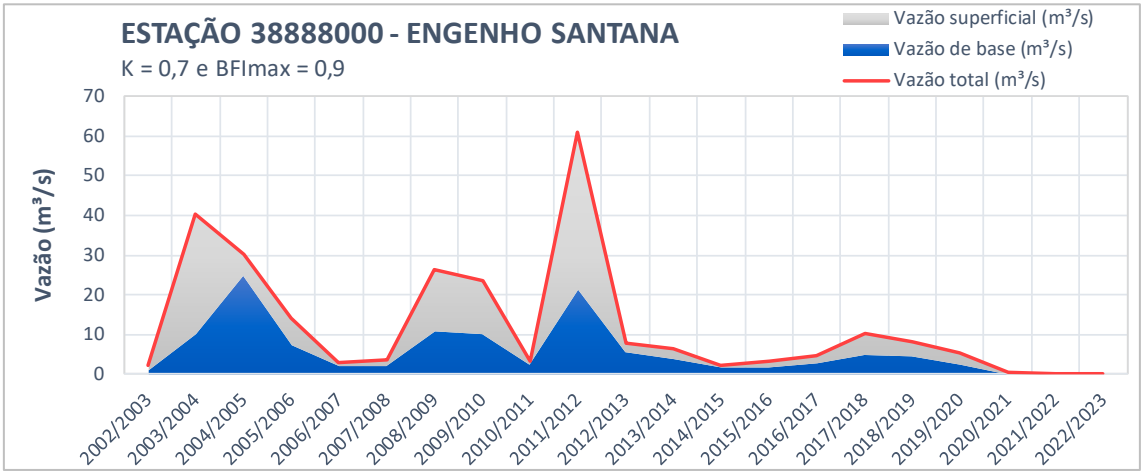


Figura 2.82 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Engenho Santana (38888000).

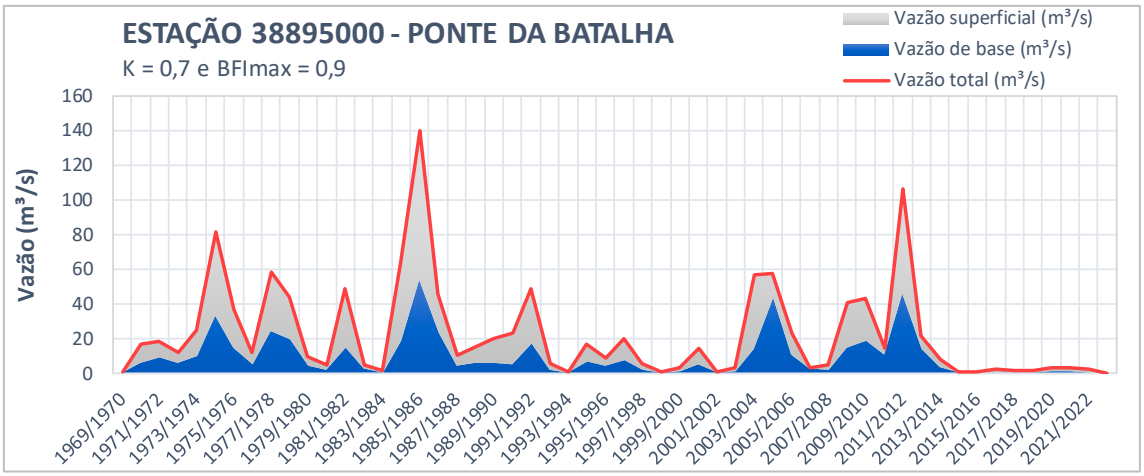


Figura 2.83 – Parcelas do escoamento subterrâneo e superficial da estação Ponte da Batalha (38895000).

Com base nos valores de escoamento de base, obtidos a partir da análise dos hidrogramas, e na área de drenagem a montante das estações fluviométricas, é possível estimar a quantidade de água que flui por unidade de área no SAPP. Esse parâmetro, conhecido como vazão específica subterrânea ou de base, é um indicador comparativo do nível de produção hídrica subterrânea das bacias hidrográficas e permite avaliar a eficiência com que a água é armazenada e liberada pelos aquíferos em relação à área de drenagem da bacia. Quanto maior a vazão específica subterrânea, maior a produtividade hídrica da bacia em termos proporcionais.

É importante ressaltar que a vazão específica subterrânea calculada a partir dos dados de vazão dos cursos d'água é uma estimativa e pode ser influenciada por diversos

fatores, como as características geológicas, a permeabilidade do solo e as condições climáticas da região. Portanto, é fundamental considerar outras fontes de dados e realizar estudos mais detalhados para uma avaliação mais precisa da produção hídrica subterrânea em uma bacia específica.

Para se comparar as vazões específicas subterrâneas das bacias é importante considerar a mesma janela temporal de monitoramento. Assim, foi escolhido o intervalo compreendido entre 2008 e 2022. Essa escolha foi feita devido à disponibilidade de uma maior amostragem de dados durante esse período. O Quadro 2.37 apresenta a vazão subterrânea média calculada em cada estação fluviométrica e a vazão específica subterrânea, calculada pela razão entre o escoamento total medido pelo posto fluviométrico e a área a montante do dispositivo.

Quadro 2.37 – Vazões subterrâneas e vazões específicas subterrâneas médias no local das estações fluviométricas, para o período compreendido entre 2008 e 2022.

Bacia	Estação fluviométrica	Área (km²)	Qsub (m³/s)	Qsub (L/s.km²)
Rio Guaju	Fazenda Almas (38690000)	52	0,665	12,79
Rio Mamanguape	Mulungu (38750000)	875	0,758	0,87
	Sítio Passagem (38771000)	908	0,637	0,70
	Ponte do Leitão (38790000)	2.950	2,404	0,81
Baixo Rio Paraíba	Guarita (38880000)	17.400	1,671	0,10
	Engenho Santana (38888000)	18.900	5,101	0,27
	Ponte da Batalha (38895000)	19.000	8,146	0,43

Conforme indicado pelos resultados, o maior valor de escoamento específico subterrâneo foi obtido na bacia do rio Guaju, estação Fazenda Almas (38690000), com valor de 12,8 L/s/km². Já os menores valores de escoamento específico subterrâneo foram obtidos para as sub-bacias do rio Paraíba, estação fluviométrica Guarita (38880000), com apenas 0,10 L/s/km², e estação Engenho Santana (38888000), com 0,27 L/s/km². Essas informações ressaltam as diferenças significativas nos padrões de escoamento subterrâneo entre as diferentes bacias hidrográficas estudadas.

A bacia do rio Guaju, representada pela estação Fazenda Almas (38690000), destacou-se com o maior valor de escoamento específico subterrâneo, indicando uma maior capacidade de armazenamento e liberação de água subterrânea. Por outro lado, as sub-bacias do rio Paraíba e do rio Mamanguape apresentaram os menores valores de

escoamento específico subterrâneo, sugerindo uma menor contribuição do fluxo subterrâneo nessas regiões.

A partir dos resultados de escoamento subterrâneo obtidos para as estações fluviométricas, foi estimado o potencial de geração de escoamento de base das bacias hidrográficas. Para as bacias hidrográficas sem dados de monitoramento foi realizada a transferência de informação de bacias vizinhas, considerando-se características fisiográficas e regime pluviométrico semelhantes. Para as bacias dos rios Camaratuba e Miriri atribuiu-se as mesmas vazões específicas da bacia do Rio Mamanguape. Para as bacias dos rios Gramame e Abiaí atribuiu-se as mesmas vazões específicas da bacia do Rio Guaju. O potencial do escoamento subterrâneo das bacias hidrográficas na área do SAPP é apresentado no Quadro 2.38 e na Figura 2.84.

Quadro 2.38 – Vazões específica subterrâneas das bacias hidrográficas do SAPP.

Bacia Hidrográfica	Vazão específica subterrânea (L/s.km²)
Rio Guaju	12,79
Rio Camaratuba	0,81
Rio Mamanguape	0,81
Rio Miriri	0,81
Rio Paraíba	0,43
Rio Gramame	12,79
Rio Abiaí	12,79

No Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame (SEMARH, 2000), foi estimado o escoamento de base dessa bacia a partir de dados fluviométricos de apenas três anos de medições (1972, 1973 e 1974). O escoamento de base foi estimado a partir da separação do escoamento do hidrograma observado nesses três anos, resultando em uma vazão específica subterrânea do Rio Gramame de 5,47 L/s.km² e uma vazão específica total de 14,51 L/s.km². O resultado referente ao escoamento específico total da bacia estimado no PDRH Rio Gramame vai ao encontro do resultado do presente estudo, estimado em 16,08 L/s.km². Já a vazão específica subterrânea estimada no PDRH Rio Gramame é menor do que a definida no presente estudo (12,79 L/s.km²), podendo estar relacionada ao curto período de dados utilizados no PDRH Rio Gramame. Contudo, os dois trabalhos reforçam a importância do escoamento de base na formação da vazão dos cursos d'água desta bacia.

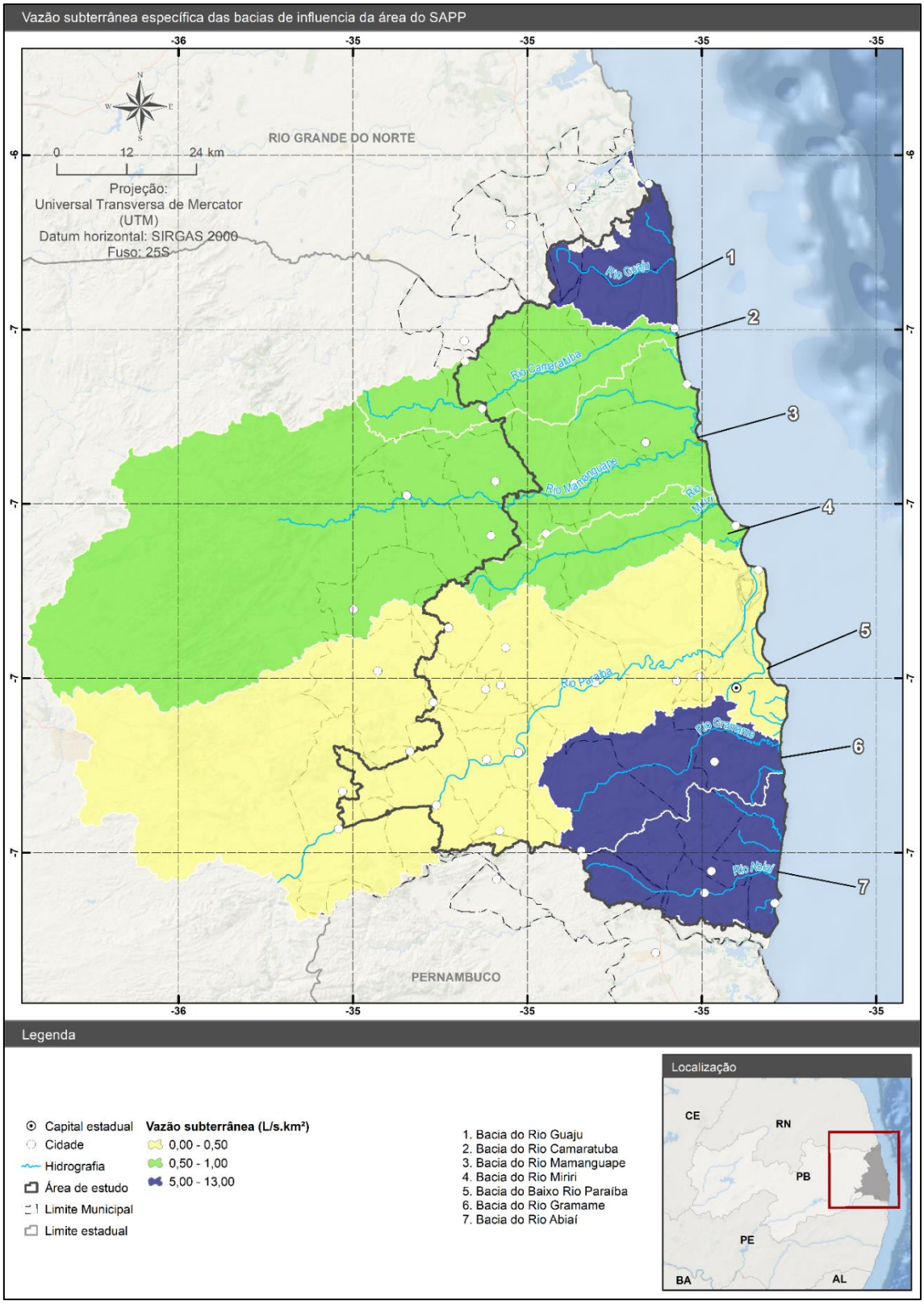


Figura 2.84 – Vazão específica subterrânea das bacias hidrográficas do SAPP.

2.2.6 *REDE DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*

2.2.6.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada com base em dissertações, teses e artigos publicados por professores e pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (PPGEUA/UFPB), atual Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM). Na etapa de coleta de dados foram considerados ainda dois grandes projetos de pesquisa e cooperação internacional: i) O Projeto BRAMAR (vigente de 2014 a 2018), fruto de uma cooperação entre Brasil e Alemanha que tinha dois sub-projetos relacionados às águas subterrâneas, e que para desenvolvimento desses sub-projetos foi instalada uma rede de monitoramento quantitativa de águas subterrâneas; ii) O SMART-Control, vigente do final de 2019 a março de 2022, fruto de uma cooperação entre Brasil, Alemanha, Chipre e França, que tratou da Recarga Gerenciada de Aquífero e criou, juntamente com recursos financeiros do Projeto BRAMAR, o Laboratório de Estudos Avançados sobre Recarga Gerenciada de Aquíferos e Hidrogeologia (LEMARH). Nesse laboratório há um piezômetro com 130 metros instalado no aquífero confinado Beberibe, para monitoramento de seu nível de água.

Dessa coleta foi possível identificar os documentos com informações sobre o monitoramento quali-quantitativo de águas subterrâneas na região litorânea sul do estado da Paraíba. O Quadro 2.39 apresenta a listagem dos respectivos documentos.

Quadro 2.39 – Estudos realizados pelo grupo de recursos hídricos da UFPB sobre águas subterrâneas.

Índ.	Documento	Ano de publicação	Observações
1	Dissertação de mestrado de Victor H. R. Coelho defendida no PPGEUA/UFPB	2011	Cadastrou 27 poços para criação de uma rede monitoramento do nível da água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Gramame (Período de monitoramento: Nov/2009 a Out/2010).
2	Dissertação de mestrado de Diego F. Targino defendida no PPGEUA/UFPB	2012	Deu continuidade ao monitoramento quantitativo realizado por Victor Coelho e realizou o monitoramento quantitativo dos 27 poços, sendo este possivelmente o único trabalho com dados de qualidade das águas subterrâneas no litoral da Paraíba (Período de monitoramento: Out/2010 a Jul/2011).
3	Relatório interno sobre a instalação da rede de	2016	Cadastrou 42 poços para criação de uma rede de monitoramento nível da água subterrânea nas bacias hidrográficas do rio Gramame e parte do

Índ.	Documento	Ano de publicação	Observações
	monitoramento do Projeto BRAMAR		baixo Paraíba. Uma parte dos poços utilizados nesse projeto foi tomada do mestrado de Victor Coelho.
4	Dissertação de mestrado de Lucila A. Fernandes defendida no PPGECAM/UFPB	2017	Operou a rede de monitoramento quantitativo no âmbito do Projeto BRAMAR (Período de monitoramento: Out/2015 ou Fev/2016 a Abr/2019).
5	Dissertação de mestrado de Victor S. G. Baptista defendida no PPGECAM/UFPB	2020	Deu suporte ao desenvolvimento do projeto SMART-Control e iniciou o monitoramento do aquífero confinado.

Por meio da coleta de dados inicial foram identificados 42 poços de monitoramento do aquífero livre, porém parte dos poços dessa rede de monitoramento foi excluída pelos seguintes motivos: i) período curto de monitoramento; ii) ausência de informações suficientes para inclusão neste estudo. Assim, foram selecionados dados de 32 poços de monitoramento do aquífero livre (Quadro 2.40 e Figura 2.85), os quais estão distribuídos na área de estudo. Esses poços têm profundidade média de 15,60 m, variando de 4,00 m a 39,00 m, e foram perfurados no aquífero livre. A maioria desses poços são utilizados para o abastecimento de moradores da zona rural e são do tipo amazonas, com diâmetro variando em 1 m e 2 m. As informações destes poços também constam no Anexo I.

Quadro 2.40 – Poços de monitoramento do aquífero livre levantados na fase de coleta de dados.

Código	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Referência	Monitoramento Qualidade	Obs.
P01	271.868	9.200.823	57,21	5,65	P01 de Victor (Cleide)	Sim	
P02	268.670	9.198.581	68,54	9,20	P02 de Victor	Sim	
P03	267.056	9.200.729	67,47	6,20	das bananeiras	Sim	
P04	266.336	9.196.776	133,82	19,80	de Campo Verde	Sim	
P05	264.560	9.186.535	175,52	11,10	do balneário	Sim	
P06	264.458	9.184.209	137,84	10,90	do lajedo	Sim	
P08	268.467	9.182.638	113,48	8,05	Bar de Carlinhos	Sim	
P09	269.231	9.187.134	121,52	11,70	da mulher "braba"	Sim	
P10	269.233	9.188.520	111,78	12,95	de seu Zé Novo	Sim	
P11	265.010	9.205.480	89,06	18,00	do pastor	Não	
P12	264.904	9.203.561	81,11	6,74	do sogro de Geraldo	Não	
P14	277.764	9.200.633	25,51	7,00	da porteira	Sim	
P15	278.777	9.201.104	42,00	12,10	Poço da escola	Sim	
P16	280.884	9.198.748	75,14	10,37	de Jiraia	Sim	
P17	266.506	9.203.393	92,33	26,00	da vaquejada	Não	
P18a	283.894	9.197.739	34,00	12,00	Águas Turvas	Sim	Alt. estimada a partir do *Google Earth*
P18b	264.650	9.181.968	155,79	19,65	da escola de Pedras de Fogo	Não	
P20	274.261	9.194.613	46,95	7,30	Poço do riacho do Salto	Não	
P21	283.879	9.188.960	34,00	4,00	da tampa que caiu	Sim	
P22	283.802	9.189.991	51,89	16,00	Poço de Rosa	Sim	
P23	292.357	9.202.840	49,00	39,00	de Valentina	Não	Alt. estimada a partir do *Google Earth*
P24	297.590	9.199.182	5,00	28,00	de seu Manoel Suica	Não	Alt. estimada a partir do *Google Earth*
P25	288.390	9.193.703	42,00	9,70	de Utinga	Sim	

Código	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Referência	Monitoramento Qualidade	Obs.
P27	296.066	9.218.927	1,85	13,00	de Dra. Nanci	Não	
P29	289.557	9.208.029	32,00		Ary Guinchos	Não	Alt. estimada a partir do *Google Earth*
P31	296.202	9.218.758	1,66	8,89	Igreja do Bessa (GW1)	Não	
P32	295.840	9.215.550	1,21	12,59	Interpa (GW2)	Não	
P33	295.003	9.218.883	-0,55	14,66	ICMBio (GW3)	Não	
P36	294.911	9.210.745	9,00	22,94	SUDEMA (GW6)	Não	Alt. estimada a partir do *Google Earth*
P37	300.771	9.205.328	23,00	32,00	Centro de Convenções (GW7)	Não	Alt. estimada a partir do *Google Earth*
P38	299.203	9.205.453	40,00	33,22	R32 - CAGEPA (GW8)	Não	Alt. estimada a partir do *Google Earth*
P39	297.159	9.204.966	38,00	35,17	ETE Mangabeira (GW9)	Não	Alt. estimada a partir do *Google Earth*

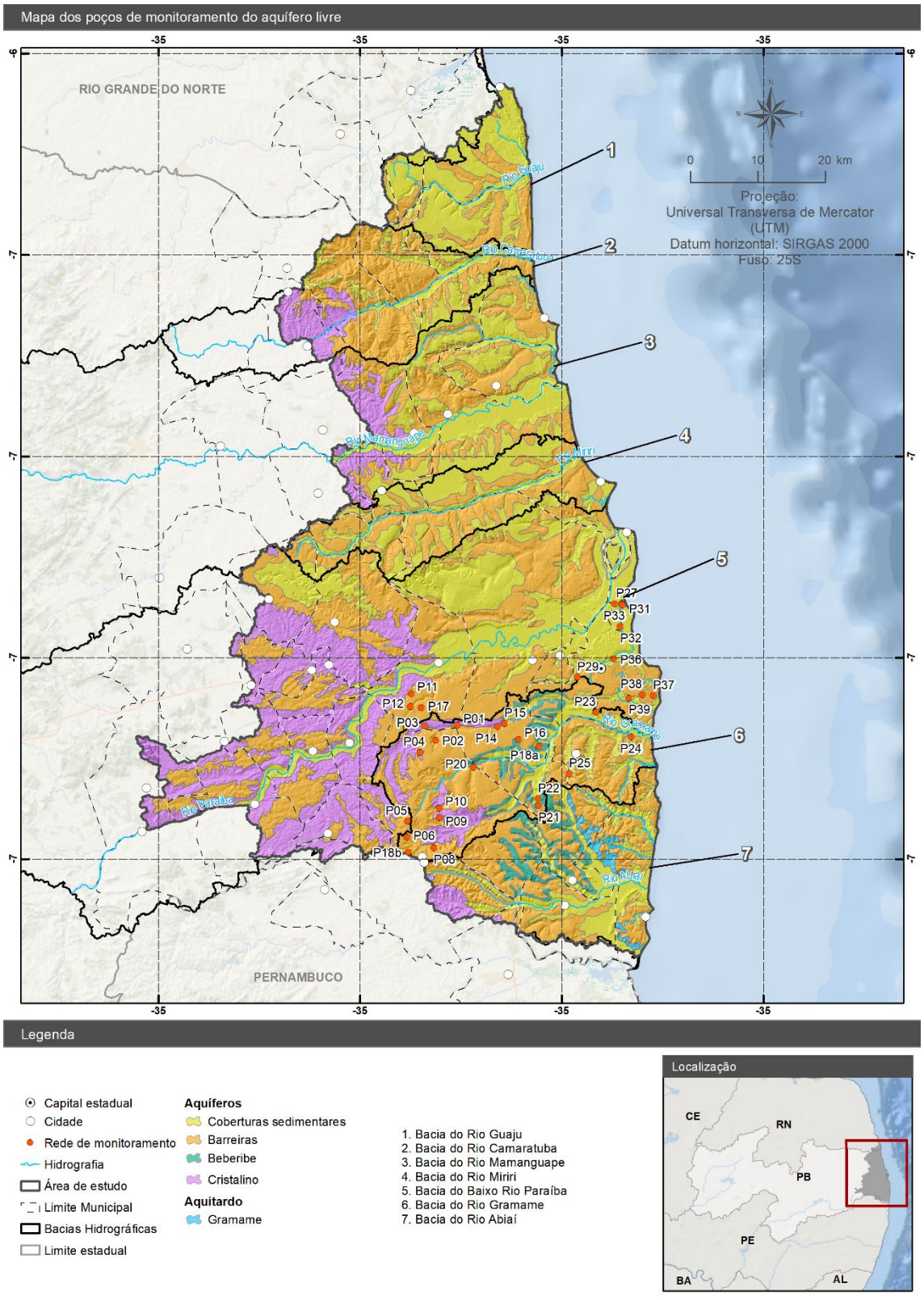


Figura 2.85 – Localização dos poços de monitoramento do aquífero livre encontrados na coleta de dados.

Já em relação ao monitoramento do nível de água do aquífero confinado, a coleta de dados foi feita no RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas) do Serviço Geológico do Brasil e em informações do projeto SMART-Control. No RIMAS foram encontrados quatro poços de monitoramento, já no projeto SMART-Control foi encontrado um piezômetro, PZ 08. São também apresentados os poços utilizados no Projeto BRAMAR, sendo que dois deles são também da rede RIMAS. As informações sobre esses poços de monitoramento encontram-se no Quadro 2.41, Quadro 2.42 e Figura 2.86.

Em relação ao monitoramento de qualidade das águas subterrâneas foram selecionados 16 poços, dos 27 encontrados no trabalho de Targino (2012), que tratou do monitoramento de qualidade por meio de poços localizados na bacia hidrográfica do rio Gramame. Essa rede de monitoramento qualitativo encontra-se na Figura 2.87.

Quadro 2.41 – Informações sobre os poços utilizados para monitoramento do aquífero confinado.

Poço	Município/ Localidade	UTM L (m)	UTM S (m)	Início do monit.	Fim do monit.	Observações
2600008444*	Cabedelo/ Praia Formosa	297.560	9.228.985	Nov/2011	Set/2022	Poços do RIMAS.
2600047480*	Bayeux/Alto da Boa Vista	285.866	9.211.010	Nov/2011	Jul/2013	Poços do RIMAS. Interrupção do monitoramento de set/2012 a fev/2013
2600047476*	João Pessoa/Mangabeira II	296.460	9.205.720	Nov/2011	Set/2022	Poços do RIMAS. Interrupção do monitoramento de fev/2013 a dez/2014
2600047473*	João Pessoa/Conjunto Viera Diniz	288.944	9.206.534	Nov/2011	Set/2022	Poços do RIMAS. Há 2 períodos de interrupção do monitoramento: i)fev/2013 a dez/2014; ii)mar/2020 a out/2020
PZ-08	João Pessoa/LEMARH/UFPB	295.699	9.210.127	Dez/2020	Em operação	Poço do Laboratório de Estudos Avançados sobre Recarga Gerenciada de Aquíferos e Hidrogeologia (LEMARH) da Universidade Federal da Paraíba

* Obs.: Informações coletadas no RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas) em agosto de 2023.

Quadro 2.42 – Informações sobre os poços utilizados para monitoramento do aquífero confinado utilizados no Projeto BRAMAR.

Código	SIAGAS	NOME	UTM E	UTM N	ALT	H_POÇO
PC1001		Fábrica de Reciclagem	286531,44	9198323,86	80,00	0,47
PC1002		Condomínio Residencial	286698,16	9196431,69	27,00	0,47
PC1003		Autoposto Ronaldão	293588,26	9207041,30	51,00	0,20
PC1004	2600047479	Pavilhão do Chá	291778,88	9212240,12	49,00	0,80
PC1005		Anatólia	296281,98	9209063,46	35,00	0,25
PC1006	2600008448	Funcionários II	292089,19	9206268,50	37,00	0,50
PC1007		Funcionários I	291167,37	9206135,68	36,00	0,00
PC1008		Valentina	296594,61	9202786,26	38,00	0,90
PC1009	2600047475	Conjunto Mangabeira	296685,41	9206829,74	43,00	0,25
PC1010		Cristo	293135,75	9208656,66	49,00	0,95

Código	SIAGAS	NOME	UTM E	UTM N	ALT	H_POÇO
PC1011		Cidade Verde	297546,44	9228983,02	53,00	0,24
PC2001	2600008444	SIAGAS - 2600008444	288944,00	9206534,00	3,10	0,72
PC2002	2600047473	SIAGAS - 2600047473	296460,00	9205720,00	42,21	0,92
PC2003	2600047476	SIAGAS - 2600047476	287398,75	9206359,64	40,94	0,65

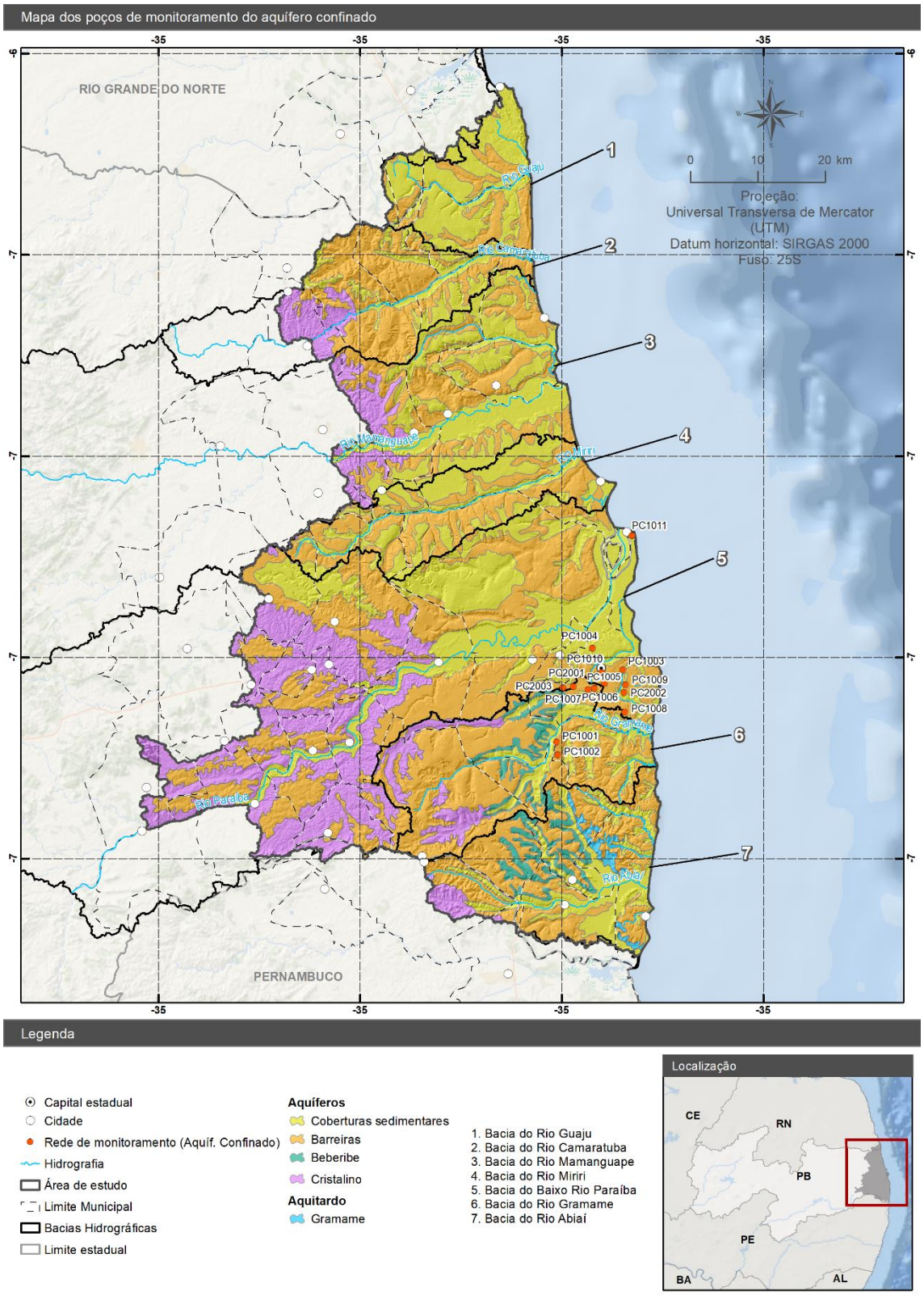


Figura 2.86 – Localização dos poços de monitoramento do aquífero confinado encontrados na coleta de dados.

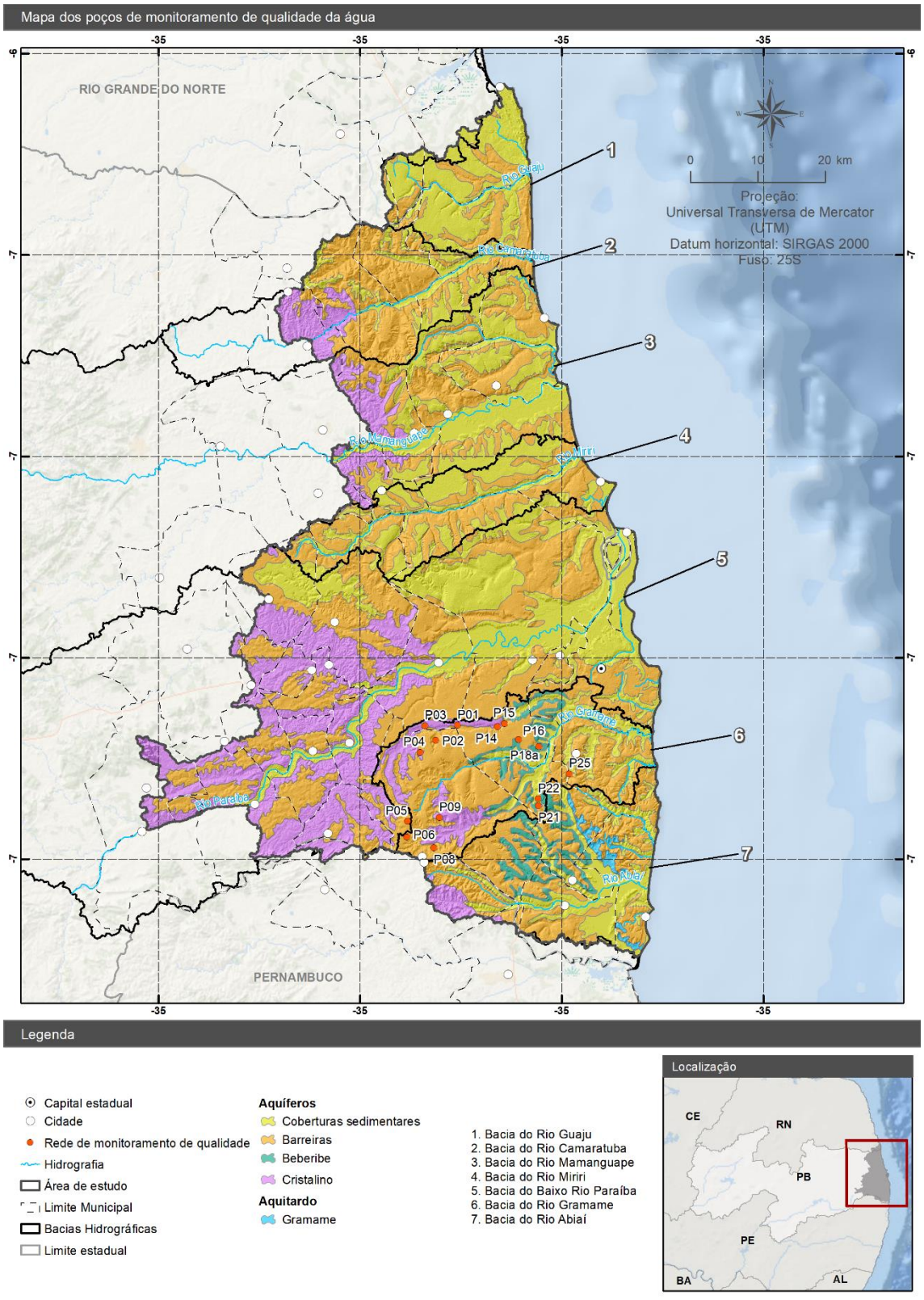


Figura 2.87 – Localização dos poços de monitoramento de qualidade da água encontrados na coleta de dados.

2.2.6.2 Organização, processamento e análise dos dados coletados

A evolução dessa rede de monitoramento foi agrupada nos quatro períodos listados a seguir, assim como apresentado na linha do tempo da Figura 2.88.

1. Nov-2009 a Out-2010 – Cadastro de poços para criação da primeira rede de monitoramento quantitativa de águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Rio Gramame com 27 poços para monitoramento com mensal com medição manual, usando medidor de nível de água da Brasbailer;
2. Out-2010 a Jul-2011 – Continuação do monitoramento quantitativo de águas subterrâneas na bacia do Rio Gramame com implantação de rede de monitoramento qualitativo. Treze parâmetros de qualidade foram monitorados nesse período: temperatura, cor, turbidez, pH (Potencial Hidrogeniônico), acidez, alcalinidade, dureza, cloretos (Cl^-), condutividade elétrica (CE), STD (Sólidos Totais Dissolvidos), nitrato (NO_3), oxigênio consumido (OC) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Ao todo foram feitas análises desses parâmetros de qualidade em 10 meses dentro de quase um ano;
3. Fev-2016 a Abr-2019 (com alguns poços com medição em Out-2015) – Retorno das medições de nível da água subterrânea para o Projeto BRAMAR, com extensão dessa rede para uma porção do baixo Paraíba. Nessa fase, foram cadastrados mais 15 poços, chegando a um total de 42 poços de monitoramento. Nesse período foi realizado um trabalho de campo para obtenção das altitudes dos poços de monitoramento usando GPS de precisão em grande parte dos poços;
4. Dez-2020 a Mar-2023 – Instalação do Laboratório de Estudos Avançados em Recarga Gerenciada de Aquíferos e Hidrogeologia (LEMARH) no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba com instalação de um piezômetro (o PZ 08) na aquífero confinado.

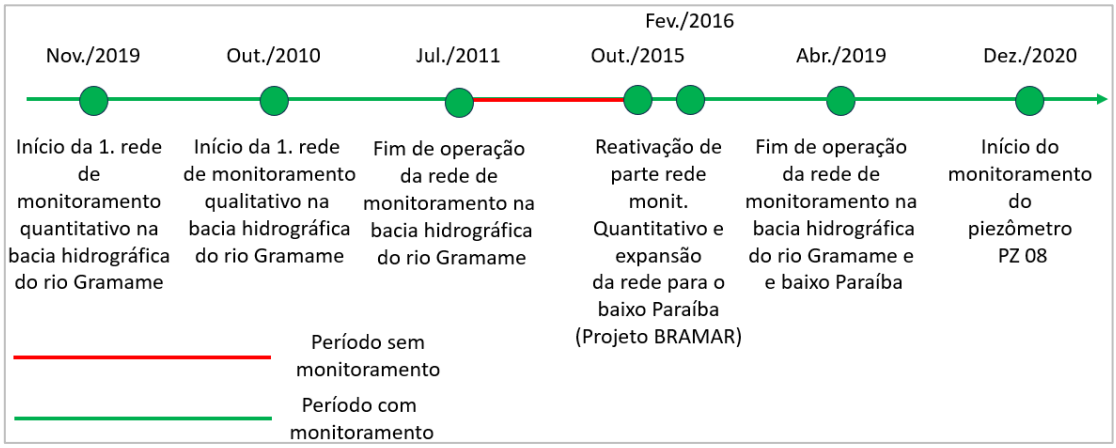


Figura 2.88 – Linha do tempo do monitoramento de águas subterrâneas executado pelo grupo da UFPB.

2.2.6.3 Níveis monitorados no aquífero livre

Com as informações dos níveis estáticos monitorados e altitudes foram calculadas as cotas potenciométricas. Os níveis monitorados nos 32 poços selecionados encontram-se no Anexo VI.

2.2.6.4 Níveis monitorados no aquífero confinado

As informações sobre o monitoramento do nível de água no aquífero confinado do Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017) encontram-se no Anexo VII. A seguir são apresentados os níveis monitorados nos demais piezômetros do aquífero confinado.

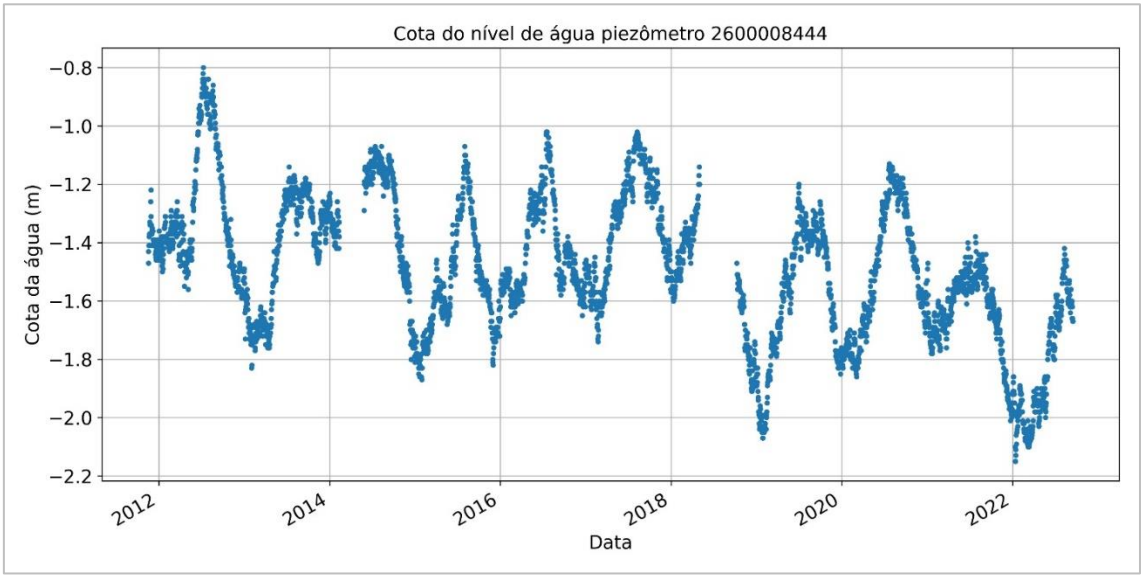


Figura 2.89 – Cota do nível de água do piezômetro 2600008444.

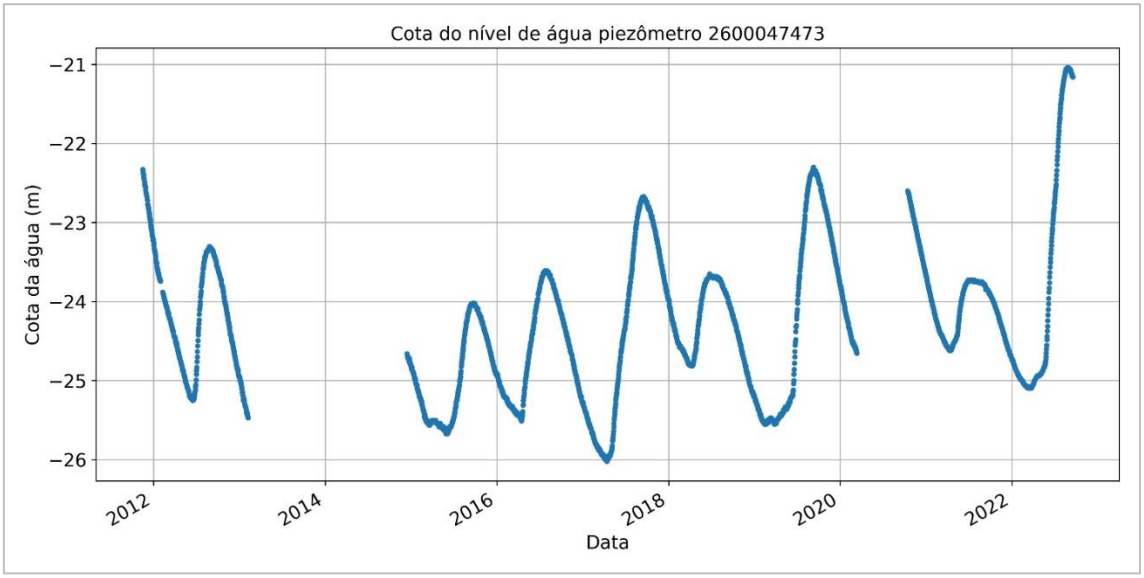


Figura 2.90 – Cota do nível de água do piezômetro 2600047473.

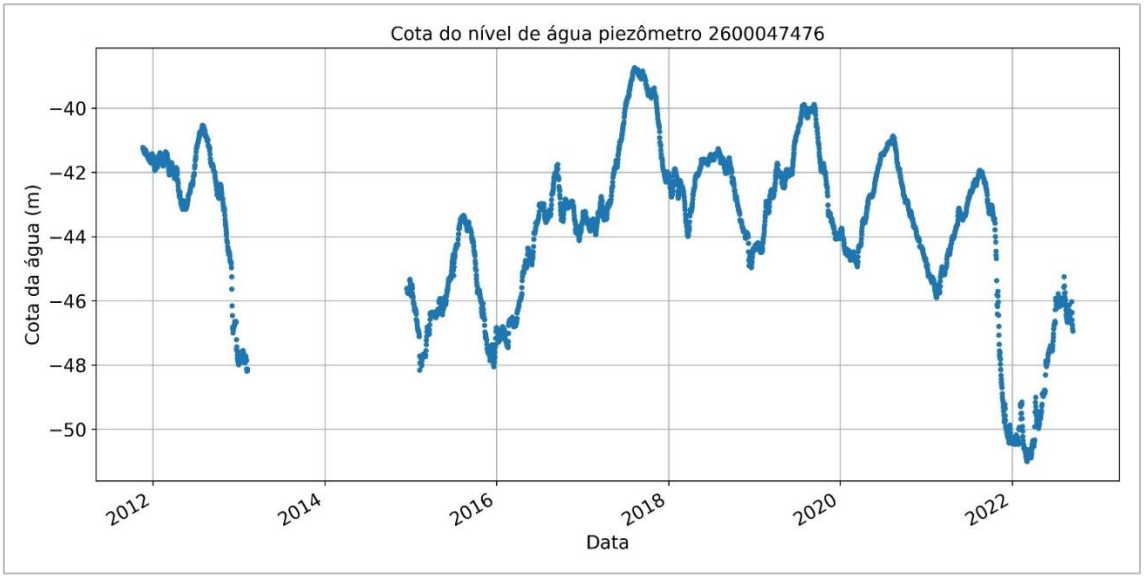


Figura 2.91 – Cota do nível de água do piezômetro 2600047476.

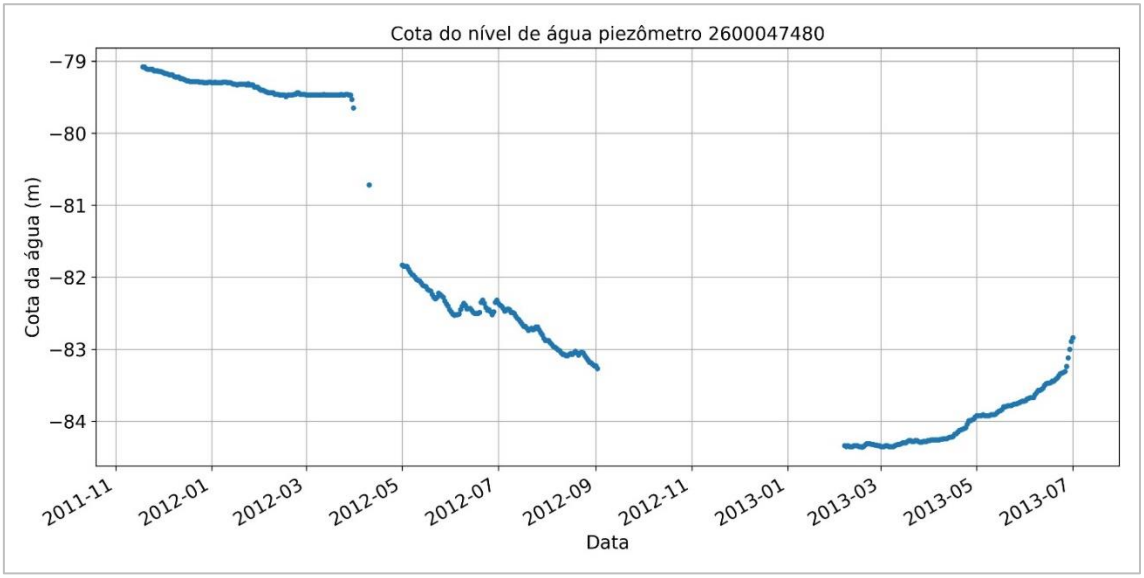


Figura 2.92 – Cota do nível de água do piezômetro 2600047480.

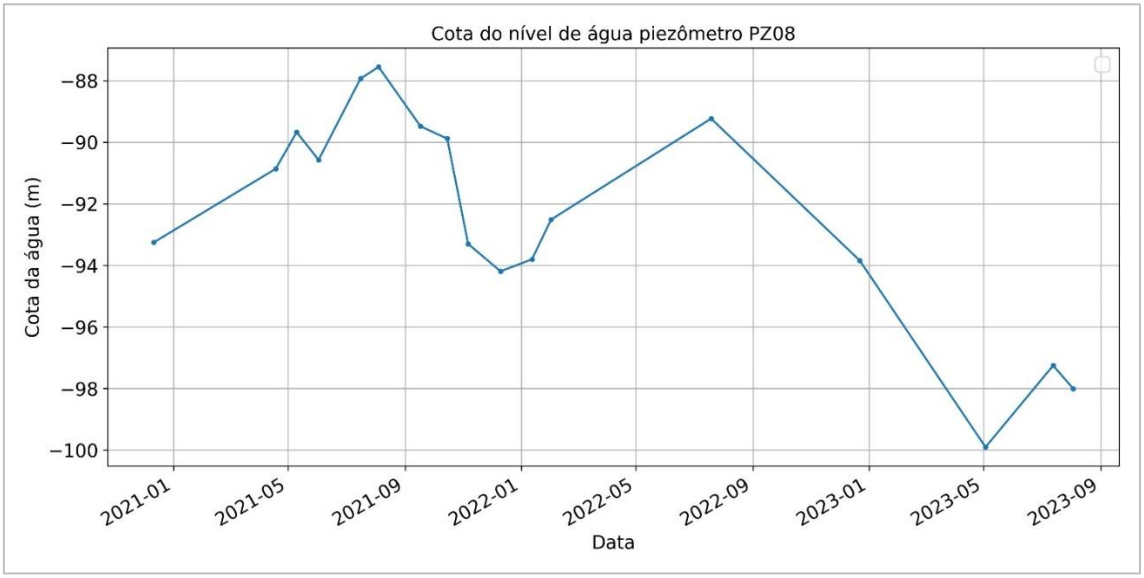


Figura 2.93 – Cota do nível de água do piezômetro PZ08.

2.2.6.5 Monitoramento de qualidade do aquífero livre

O primeiro quadro (Quadro 2.43) do conjunto de quadros seguintes diz respeito aos parâmetros estatísticos básicos (valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação) para 10 poços que foram possíveis a coleta de 8 amostras. Nesse caso, são apresentados os parâmetros estáticos dos seguintes parâmetros: Dureza, Cloretos, Condutividade Elétrica e Nitratos, assim como os valores de referência das portarias de número 518 e 396, ambas do CONAMA. Em seguida, são apresentados quadros com os valores dos 13 parâmetros de qualidade de água monitorados nos 16 poços, quando possível, pois em alguns meses alguns poços estavam secos, não tendo assim como coletar amostras.

Quadro 2.43 – Parâmetros estatísticos dos parâmetros de qualidade da água subterrânea.

Poço	Parâmetro	Portaria n° 518	CONAMA n° 396	Parâmetros estatísticos					
		Consumo Humano	Consumo Humano	n° Amostras	Média	Mínimo	Máximo	Desv. Padrão	Coef. Variação
P1	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	17,1	6,0	27,0	7,5	44%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	19,4	15,1	22,5	2,7	14%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	109,0	74,2	22,8	53,1	49%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	2,0	1,1	3,2	0,8	38%
P2	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	69,3	56,0	96,0	13,1	19%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	62,6	40,0	82,3	15,4	25%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	249,7	196,6	309,0	46,2	19%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	8,7	4,7	**15,5**	3,5	40%
P3	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	41,9	16,0	88,0	21,9	52%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	17,8	14,0	24,5	3,7	21%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	128,2	95,7	247,0	49,7	39%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	3,1	1,3	5,6	1,2	39%
P4	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	27,5	18,0	43,0	8,9	32%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	9,7	6,0	15,6	3,4	35%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	97,6	87,4	106,0	8,0	8%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	3,8	1,8	8,2	2,1	55%
P9	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	38,9	16,0	69,0	22,3	57%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	14,0	8,0	19,1	4,0	29%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	87,5	63,3	116,9	22,7	26%

Poço	Parâmetro	Portaria n° 518	CONAMA n° 396	Parâmetros estatísticos					
		Consumo Humano	Consumo Humano	n° Amostras	Média	Mínimo	Máximo	Desv. Padrão	Coef. Variação
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	2,9	2,0	3,8	0,7	24%
P10	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	29,0	12,0	46,0	11,0	38%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	59,2	52,5	67,5	5,3	9%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	205,9	172,2	242,0	26,7	13%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	1,9	1,2	3,2	0,6	32%
P14	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	32,9	10,0	115,0	34,4	105%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	19,4	14,0	27,5	4,7	24%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	89,0	70,0	118,7	19,0	21%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	1,0	0,7	1,4	0,2	20%
P15	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	36,4	18,0	80,0	19,6	54%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	22,6	10,7	29,0	7,3	32%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	133,6	113,6	153,8	14,6	11%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	3,8	1,7	6,8	1,7	45%
P22	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	31,2	16,0	60,0	14,2	46%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	31,9	20,0	49,9	11,8	37%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	176,7	130,3	228,0	41,1	23%
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	6,2	2,6	**10,9**	3,2	52%
P25	Dureza (mgL-¹ CaCO3)	500,000	500,000	8	39,0	18,0	65,0	15,7	40%
	Cloretos (mgL-¹ CaCO3)	250,000	250,000	8	39,9	32,0	48,5	6,7	17%
	CE (uS/cm)	Sem Indicação	Sem Indicação	8	181,9	139,9	219,0	27,1	15%

Poço	Parâmetro	Portaria n° 518	CONAMA n° 396	Parâmetros estatísticos					
		Consumo Humano	Consumo Humano	n° Amostras	Média	Mínimo	Máximo	Desv. Padrão	Coef. Variação
	Nitratos (mgL-¹ NO3)	10,00	10,00	8	3,1	1,7	5,2	1,4	45%

Quadro 2.44 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Ago-2010).

Poço	Temperatura	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcalinidade	Condutividade	Cloretos	STD	DQO/OC	NO	NO_3	Hora
1	27,5	4,48	0,0	0,80	17,0	14,1	4,6	83,6	8,60	36,3	0,10	0,00	2,33	09:05
2	28	6,23	0,0	2,46	13,0	60,0	32,4	320,0	11,96	146,7	0,10	0,00	8,26	09:21
3	26	5,58	100,0	64,50	6,0	23,2	35,5	123,4	8,60	56,1	2,60	0,00	2,77	09:49
4	29	4,52	0,0	0,52	23,0	28,2	4,6	123,5	7,35	51,3	0,30	0,00	5,39	10:01
5	27	4,86	0,0	4,01	10,0	21,2	5,1	55,6	6,86	24,8	0,00	0,00	2,30	10:30
6	27,5	6,33	2,0	43,10	9,0	30,3	21,3	97,2	13,23	43,4	0,60	0,00	2,45	10:38
8	26	5,32	0,0	11,90	18,0	18,2	7,1	81,1	16,60	36,0	0,00	0,00	1,49	11:43
9	28,5	5,18	0,0	0,34	20,0	22,2	7,2	79,4	14,21	32,0	0,00	0,00	2,30	12:08
10	27	5,6	0,0	6,90	16,0	30,3	16,2	253,0	65,60	94,9	0,00	0,00	1,84	12:15
14	27	5,51	0,0	11,40	26,0	16,2	15,2	103,7	19,10	42,4	0,10	0,00	0,95	14:17
15	28	4,78	5,0	30,80	29,0	33,3	7,1	181,3	31,80	74,5	0,00	0,00	5,14	14:25
16	29	5,52	4,0	49,90	12,0	49,4	20,3	201,0	40,00	87,3	3,70	0,00	7,20	14:36
18a	28	3,44	0,0	3,35	38,0	134,3	0,0	587,0	107,80	242,0	0,10	0,00	15,00	15:01
21	26	4,98	0,0	5,50	19,0	24,0	8,1	145,7	31,36	62,3	0,00	0,00	1,83	16:15
22	29	3,74	0,0	1,01	36,0	45,0	6,1	294,0	55,86	125,3	0,00	0,00	1,08	16:26
25	27	5,23	5,0	4,79	25,0	32,0	7,1	245,0	49,00	105,1	0,00	0,00	3,77	17:06
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**	**PPM STD**	**mg/l O²**	**mg/l N**	**mg/l N**	

Quadro 2.45 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Set-2010).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	Sulfatos	STD	OC	NO	NO_3	Hora
1	26	4,3	0	0,80	18,0	10,1	1,95	73,6	16,66	0	48,9	1,023	0	1,99	09:00
2	28	5,76	0	2,07	16,0	53,5	21,4	239	67,13	0	129,9	1,209	0	7,58	09:15
3	26,2	6,28	100	30,00	24,0	22,2	22,4	128,5	16,17	0,03	59,3	1,767	0,003	2,8	09:26
4	29	4,26	20	10,00	21,0	19,1	1,95	99,3	7,84	0,01	51,2	1,116	0	5,2	09:39
5	27	4,7	0	2,48	11,0	9,09	3,9	50,3	6,86	0	23,8	0,93	0	2,1	10:39
6	28	5,63	7,5	7,79	15,0	12,1	13,6	85,6	16,17	0	40	0,93	0	2,41	10:59
8	27	5,01	0	2,48	22,0	13,1	6,8	70	15,19	0,01	36,5	0,93	0	1,3	11:29
9	28	4,97	0	0,66	13,0	20,2	4,8	71,1	11,76	0	35,6	0,93	0	3,1	12:01
10	27,5	5,23	0	0,22	24,0	25,2	12,6	228	64,68	0	113,8	1,023	0	2,15	12:11
14	27	5,21	5	2,31	43,0	37,3	10,7	90,3	17,15	0,02	40,3	1,116	0	1,17	13:28
15	28	4,63	10	10,50	40,0	37,3	6,8	129,7	23,03	0,01	64,8	1,116	0	4,2	13:30
16	26,5	5,71	30	5,10	27,0	71,7	13,6	165,7	21,07	0,04	83,5	3,441	0	7,15	13:44
18a	27	3,64	0	0,25	41,0	133,3	0	453	96,04	0	235	1,209	0,009	18,76	14:08
21	26	5,1	10	8,40	41,0	26,2	9,7	123,1	47,53	0,01	57,8	1,395	0	3,09	15:10
22	28,5	4,33	0	0,44	42,0	51,5	3,9	222	9,8	0,01	110,1	1,116	0	10,8	15:19
25	27	3,75	0	0,10	47,0	25,2	0	204	46,55	0	101,6	1,023	0	4,1	15:53
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**		**PPM STD**		**mg/l N**	**mg/l N**	

Quadro 2.46 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Out-2010).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	Sulfatos	STD	DBO	OC	NO	NO_3	Hora
1	28	5,22	0	0,53	21,01	16,6	4,8	87,5	15,5	3,4	47,4	1,76	0	0	3,25	08:15
2	27,5	5,56	0	0,55	4,77	68,6	31,2	308	69,3	3,2	125,5	1,87	0,09	0	15,5	08:32
3	26	5,94	40	14,2	16,2	41,4	25,3	129,5	14,8	0,4	56,6	1,76	1,2	0	5,6	08:49
4	28,5	4,97	10	0,80	26,7	30,3	1,95	105,5	8,5	0,6	43,5	0,26	0,2	0	8,24	09:05
5	27,5	5,26	0	3,09	7,6	29,2	9,75	55,1	12,6	0,8	21,7	0	0,1	0	3,4	09:25
6	28	5,57	30	26,6	9,5	66,6	16,56	83,3	11,7	6,4	34,0	0	4,6	0	4,8	09:35
8	27,5	5,56	0	2,06	18,1	26,6	11,7	85,2	14,8	6,6	34,4	0,27	0,5	0	2,9	10:15
9	29	5,43	0	0,52	15,2	40,4	6,82	78,8	10,8	1,4	31,6	0,3	0,1	0	2,06	11:00
10	28,5	5,44	0	0,51	23,8	30,3	11,7	242	59,4	5,2	94,7	0	0,1	0	3,25	11:07
14	27,5	5,50	0	1,55	31,5	24,2	10,72	93,3	14,8	8,8	38,1	0	0,3	0	1,45	12:30
15	28	5,23	0	3,11	34,3	32,3	6,82	139,9	21,1	3,4	54,6	0	0,4	0	5,14	12:38
16	27	5,48	20	3,54	19,1	45,4	27,3	174,5	18	12,4	70,7	0,23	2,8	0	9,16	13:05
18a	27,5	4,32	0	1,35	28,6	24,2	3,9	407	76,5	0,8	176,1	0,55	0	0	18,7	13:25
21	28	5,33	5	6,81	25,7	20,2	8,78	133,7	27	2	52,1	0	1,2	0	2,1	14:10
22	29,5	5,59	0	2,32	25,7	35,3	5,85	228	40,5	2	113,9	1,05	0	0	10,9	14:49
25	28	4,12	0	0,70	25,7	39,3	0,97	219	40,5	0,6	91,9	0,89	0,3	0	5,28	14:53
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**		**PPM STD**	**mg/l O²**		**mg/l N**	**mg/l N**	

Quadro 2.47 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Nov-2010).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	Sulfatos	STD	DBO	OC	NO	NO_3	Hora
1	28	4,63	0	0,51	5,85	6	4,8	74,3	20	0	44,2	0,36	0,1	0	2,09	09:06
2	27	5,44	0	0,37	7,8	60	42,9	283	79,8	0,2	176,8	0,47	0	0	10,8	09:30
3	27	5,85	5	11,2	3,9	88	22,4	107,9	18,1	0	56,5	0,2	0,4	0	3,5	09:50
4	29	4,62	0	0,58	17,5	22	0,9	106	10,2	2	56,7	0,66	0,6	0	5,3	10:10
5	28	5,16	0	0,80	2,9	10	8,7	46,7	8,8	2,2	27	1,27	0,4	0	2,68	10:31
6	28,5	5,47	0	11,5	5,8	10	10,7	74,5	13,7	2	41,9	2,04	1,1	0	3,18	10:41
8	28	5,53	60	128	6,8	10	4,8	74,7	17,6	2	40,1	1,69	1,4	0	1,5	11:15
9	29	5,35	5	0,27	8,7	16	5,8	75,2	19,1	0	37,4	0	0	0	2,5	11:51
10	28	5,32	0	0,52	13,6	24	8,7	203	63,2	0	99,5	0	0	0	1,6	12:01
14	29	5,15	0	8,48	7,8	12	10,7	77,7	20	0	42,1	0	0,2	0	1,3	13:27
15	29	4,92	0	14,8	9,7	24	2,9	119,9	23	20,6	60,9	0	1	0	4,3	13:34
16	27	5,23	10	4,35	8,7	38	13,6	147,7	20,5	17,4	75,8	0	2,1	0	7,3	13:54
18a	29	4,00	0	0,45	24,3	64	0	408	82,3	1,8	211	0	1	0	16,4	14:19
21	28	4,97	5	10,9	16,5	20	3,9	122,6	37,7	0	63,4	0	2	0	2,03	15:07
22	29	4,45	0	0,22	23,4	24	12,6	227	49,9	1,6	117,1	0	0,7	0	9,6	15:16
25	28	4,19	0	0,18	26,3	34	2,9	211	48,5	5	105,2	0	0	0	4,6	15:43
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**		**PPM STD**	**mg/l O²**		**mg/l N**	**mg/l N**	

Quadro 2.48 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Dez-2010).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	Sulfatos	STD	DBO	OC	NO	NO_3	Hora	Observações
1	27	5,1	0	6,92	19,90	10	2,9	76,8	19,6	0	37,6	0	0,1	0	1,4	08:10	
2	28	5,9	0	0,81	15,2	56	39	309	82,3	0	152,5	0,6	0	0	9,3	08:17	
3	27	6,1	10	13,4	10,4	16	0	107,9	24,5	0	57,2	4,51	1,4	0	2,6	08:37	
4	29	4,4	0	0,45	38,0	18	25,3	98	15,6	0	49,5	0	0,2	0	4,7	08:51	
5	28	5,1	0	9,92	9,5	14	3,9	44,7	13,7	0	21,8	0	0,1	0	2,3	09:15	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço seco
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Poço seco
9	29	5,1	0	0,32	23,7	16	39	70,6	16,6	0	34,4	0,52	0	0	2,4	11:06	
10	28	5,2	0	2,55	22,8	12	10,7	193,2	61,7	0,2	96,7	1,1	0,1	0	2,2	11:23	
14	29	5,10	0	5,17	30,4	10	8,7	72	20,5	3,8	39,2	0	0,2	0	0,9	12:38	
15	29	4,8	15,5	31,7	35,1	18	5,8	135,7	27,4	15,6	65,1	0,7	0	0	4	12:40	
16	27	5,2	0	10,60	21,8	32	10,7	139,6	19,6	6,8	69,1	0,26	2,4	0	6,6	13:00	
18a	28	4,10	0	0,49	35,1	54	0	364	160,7	0	198,6	0	0,6	0	12,1	13:18	
21	28	4,7	0	10,1	36,1	14	5,8	111,6	43,1	1,2	60,8	0	0,4	0	1,3	14:19	
22	30	4,4	0	0,88	33,2	16	4,8	217	46	0	108,9	0	1,7	0	7	14:25	
25	28	4,2	0	0,31	39,9	18	0	186,2	48	0	92,2	0	1,8	0	1,8	14:53	
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**		**PPM STD**	**mg/l O²**		**mg/l N**	**mg/l N**		

Quadro 2.49 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Fev-2011).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	Sulfatos	STD	DBO	OC	NO	NO_3	Hora	Observações
1	29	5,12	0	10,00	13,86	14	4,91	131,9	20	0	70,6	1,68	0,306	0	2,326	08:19	
2	28	6,12	0	5,01	15,84	62	25,53	260	70	0,6	129	0,14	0,306	0	9,416	08:33	
3	27,5	6,6	25	17,1	9,9	27	23,57	110,5	14	0	64,9	0	0,714	0	3,026	08:46	
4	30	7,76	15	4,82	21,78	23	0	89,7	7	0,6	47,8	0	1,53	0	3,658	09:01	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	09:18	Período Seco
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	09:27	Período Seco
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10:01	Período Seco
9	29	5,51	0	1,85	12,9	20	3,928	63,3	11	1,1	37,9	1,99	0,204	0	3,477	10:51	
10	28,5	5,57	0	0,49	18,8	22	9,82	172,2	52,5	2,4	90,6	0	0,102	0	2,416	11:11	
14	30	5,57	0	10,10	20,8	17	8,838	70	14	3	42,1	0	0,306	0	1,093	12:12	
15	30	4,99	0	13,6	26,7	26	3,928	153,8	28	2,5	82,3	0	1,2	0	6,887	12:20	
16	29	5,69	0	8,00	10,9	45	7,856	130,1	12	1,6	69,2	0	1,02	0	9,958	12:33	
18a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12:57	Coleta não autorizada
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Residência fechada
22	30	5,12	0	2,47	13,9	22	4,91	170,5	23,5	0	86,5	0	0,204	0	8,942	14:02	
25	28,5	4,15	0	7,73	16,8	26	0,982	154,2	36,5	2	87,5	0,27	0	0	4,471	14:24	
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**		**PPM STD**	**mg/l O^2**		**mg/l N**	**mg/l N**		

Quadro 2.50 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Abr-2011).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	Sulfatos	STD	DBO	OC	NO	NO_3	Amônia	Hora	Observações
1	29	5,24	7,5	3,23	17,8	16	6,8	74,2	20,5	0,4	36,3	0,62	0	0,0	1,1	1,9	09:20	
2	29	6,16	0	3,93	16,8	62	28,4	212	59	1,8	105,7	0,51	0,52	0,0	5,4	1,5	09:30	
3	28	3,21	17,5	9,7	45,5	32	0	247	17	93	110,2	0	1,56	0,0	1,3	1,2	09:42	
4	30	4,34	0	6,15	24,7	26	2,9	87,4	6	7,4	56,7	0	5,6	0,0	3,2	1,05	09:57	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Período Seco
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Período Seco
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Período Seco
9	30	5,36	5	0,54	16,8	27	0,9	69,1	8	2,8	33,6	0	0,2	0,0	2,2	1,09	12:20	
10	29	5,57	0	0,78	18,8	23	11,7	187,4	53	20,6	94,4	0	0,1	0,0	2,1	0,2	12:27	
14	29	5,45	0	12,30	18,8	19	12,7	80	14,5	8,4	39,5	0	0	0,0	0,8	0,21	14:45	
15	29	5,05	10	12,1	29,7	28	6,8	146,7	29	6,6	77,8	0	0,31	0,0	3,8	0,12	14:49	
16	28	5,33	30	15,90	19,8	44	6,8	125,5	12,5	8	64,7	0	2,49	0,0	3,9	0,16	15:08	
18a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	28	4,95	25	11,1	28,7	16	7,8	114,9	31	1	56,2	0	1,7	0,0	0,9	0,2	16:16	
22	30	5,17	0	0,60	24,7	21	4,9	130,3	26	2	66,4	0	0	0,0	4,3	0,2	16:30	
25	29	4,45	7,5	8,00	25,7	29	4,9	139,9	32	4	75,3	0	0	0,0	2,1	0,2	17:00	
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**		**PPM STD**	**mg/l O²**		**mg/l N**	**mg/l N**			

Quadro 2.51 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Jun-2011).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	STD	DBO	OC	NO_3	Amônia	Hora
1	27	5,18	0	3,59	17	20	4	77,5	22	38,75	0,52	0	1,51	0,27	07:20
2	27	6,36	200	4,10	15	80	12	221	40	110,5	0,5	5,3	9,3	0,29	07:45
3	27	6,74	50	29,5	11	40	23	95,7	17,5	47,85	1	0,8	3,7	0,23	08:00
4	28,5	4,61	50	6,40	22	20	66	88,3	7,5	44,14	0,4	0	2,1	0,23	08:20
5	28,5	4,92	0	0,75	13	20	7	51,8	8	25,9	0,64	0	2,6	0,24	08:50
6	28,5	6,81	200	1,57	15	70	19	136,4	12	68,2	1,13	0	6,2	0,25	09:00
8	28,5	5,43	0	7,06	17	49	7	93	24,5	46,5	0	0	0.8	0,24	10:20
9	29	6,3	0	0,54	15,0	61	9	115	17	57,5	1,5	0	3,8	0,21	12:30
10	28	5,38	10	51,90	21,0	40	15	239	67,5	119,5	0	0	1,2	0,21	12:40
14	28	5,57	0	7,29	30,0	115	8	118,7	27,5	59,35	1,28	1,3	1	0,15	14:55
15	29	6,21	0	23,1	30,0	80	14	113,6	12,5	56,8	2,4	0	1,9	0,17	15:05
16	27,5	4,57	100	1,88	21,0	37	9	244	27	122	1,4	0	6,1	0,17	15:20
18a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	27,7	5,69	60	17,6	27	40	42	75,1	16,5	37,55	1,7	0	0,8	0,15	16:21
22	29	5,34	0	0,68	31,0	30	6	136,7	20	68,35	1,55	0	3	0,16	16:45
25	28	3,96		0,36	30,0	65	6	171,2	35,5	85,6	0,74	0	2,1	0,16	17:00
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**	**PPM STD**	**mg/l O^2**		**mg/l N**		

Quadro 2.52 – Parâmetros de qualidade da água subterrânea dos poços monitorados (Jul-2011).

Poço	Temp.	pH	Cor	Turbidez	Acidez	Dureza	Alcal.	Condut.	Cloretos	STD	DBO	OC	NO_3	Amônia	Hora
1	28	5,01	0	6,85	25,6	27	29,3	228	15,1	114	0,56	0,714	1,594	2,02	07:00
2	27,5	5,81	0	4,00	15,7	70	16,6	208	44,5	104	0,94	1,02	5,758	1,17	07:05
3	27	6,5	30	14,5	12,8	35	22,4	97,3	14,7	48,6	0,62	1,53	3,026	1,01	07:38
4	28,5	4,3	0	6,20	26,5	43	2,9	104,5	8,8	52,2	0,5	3,672	1,987	1,48	07:57
5	28	4,4	0	3,86	14,7	38	6,8	70,1	8,8	35	1,4	0,204	1,829	1,01	08:32
6	28	6,2	500	4,25	17,7	52	51,8	122,3	9,8	61,1	0	17,6	4,11	0,93	08:45
8	27	5,2	0	8	17,7	48	6,8	122,9	14,7	61,4	0	0,918	3,342	0,93	10:15
9	29	5,7	0	0,50	16,7	62	19,5	110,8	11,7	55,4	2,13	0,816	3,387	0,86	10:54
10	28	5,4	0	50,00	25,6	35	9,7	227	61,7	113,5	2,58	1,836	1,472	0,86	11:00
14	27	5,50	40	80,00	44,3	39	14,6	116,4	23	58,2	1,67	2,142	1,339	0,70	07:40
15	29	5,3	40	54,3	39,4	47	10,7	118,4	10,7	59,2	2,11	2,55	1,716	0,62	08:15
16	28	5,9	40	5,31	21,6	79	28,3	186,5	23	93,2	1,5	13,1	5,148	0,62	08:30
18a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	28	5,3	30	24	31,5	38	26,4	71,9	11,2	35,9	1,17	1,193	0,691	0,68	16:18
22	29	5	0	0,29	31,5	41	9,7	146,7	21	73,3	1,83	1,867	2,664	0,65	16:27
25	28	4,1	0	1,40	37,4	55	1,9	176,9	32,8	88,4	0,9	0,918	1,752	0,66	17:04
				UNT	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**mg/l CaCO3**	**us/cm**	**mg/l Cl -**	**PPM STD**	**mg/l O^2**		**mg/l N**		

2.2.7 *HIDROGEOLOGIA*

Os reservatórios subterrâneos da Bacia Paraíba foram identificados com os mesmos nomes atribuídos às unidades litoestratigráficas que os encerram (aquíferos Beberibe/Itamaracá e Barreiras, e Aquitardo Gramame), conforme definidas no mapa geológico da CPRM (2004). O conjunto de aquíferos superficiais, representados por sedimentos fluviais, costeiros e coberturas colúvio-eluvionares, foram reunidos no Sistema Cobertura Sedimentares. O conjunto formado por todas essas unidades hidroestratigráficas representa o SAPP, no estado da Paraíba.

O tema hidrogeologia compreendeu as seguintes atividades: definição do arcabouço de subsuperfície do SAPP; estimativa das espessuras totais e saturadas do SAPP; elaboração de mapa potenciométrico dos aquíferos superficiais; estimativa das reservas renováveis, permanentes e totais do SAPP; estimativa das disponibilidades; estimativa da recarga; e caracterização hidrodinâmica.

As informações hidrogeológicas utilizadas para o desenvolvimento das atividades acima referidas foram obtidas de:

- Dados cadastrais de poços do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil;
- Dados cadastrais de poços da AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba;
- Dados cadastrais de poços da CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba;
- Dados de poços, sondagens elétricas verticais e testes de bombeamento publicados por Costa *et al.* (2007).

Também foram consultados relatórios técnicos, teses, dissertações e artigos em periódicos, listados nas referências deste estudo, além do Mapa hidrogeológico do Estado da Paraíba (CPRM, 2019), cartografado na escala 1:500.000.

Na área de estudo afloram dois grandes domínios hidrogeológicos: o domínio Fissural e o domínio Poroso. O domínio Fissural é formado pelas rochas ígneas e metamórficas fraturadas, componentes do embasamento cristalino, sobre o qual foram depositadas

as sequências sedimentares meso-cenozoicas do Estado da Paraíba. Esse domínio define os limites ocidentais da área de ocorrência dessas sequências sedimentares e sua caracterização hidrogeológica não é objeto deste estudo.

O domínio poroso é constituído pelas unidades hidroestratigráficas meso-cenozoicas que afloram na porção extremo oriental do Estado da Paraíba e se estendem por quilômetros sob as águas do Oceano Atlântico. Esse domínio, em sua porção aflorante, é composto por um conjunto de aquíferos, aquitardos e aquicludes, reunidos no SAPP, objeto principal deste estudo hidrogeológico.

2.2.7.1 Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco – SAPP

Os aquíferos sedimentares da porção oriental do Estado da Paraíba estão reunidos no Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco (SAPP). O SAPP é composto por uma ou mais unidades hidroestratigráficas ou formações, total ou parcialmente saturadas e capazes de armazenar, transmitir e fornecer quantidades significativas de água. Como as formações geológicas não são homogêneas e entremeiam porções mais e menos permeáveis, ou ainda impermeáveis, num conceito mais amplo, os sistemas aquíferos podem incluir aquitardos e aquicludes em escala local ou regional.

O SAPP comporta várias unidades hidroestratigráficas de porosidade granular, aqui definidas em termos de suas características litológicas e subdivisões litoestratigráficas reconhecidas. Sua área de ocorrência estende-se por 4.356 km², que representa 84% da área estudada (5.208 km²), e a área restante é ocupada por rochas do Aquífero Cristalino (852 km²). A espessura máxima total constatada em perfurações para captação de água subterrânea no SAPP foi de 364 m na área de João Pessoa, no poço de código 2600008446/SIAGAS, tendo avançado até 373 m em rochas do embasamento cristalino. Várias outras perfurações alcançaram profundidades da ordem de 300 m ou mais sem, contudo, tocar o embasamento pré-cambriano.

Os reservatórios subterrâneos componentes do SAPP integram as unidades hidroestratigráficas Beberibe, Gramame, Barreiras e Coberturas Sedimentares, identificadas pelos mesmos nomes atribuídos às unidades litoestratigráficas que os encerram (Quadro 2.53 e Figura 2.94). As Coberturas Sedimentares reúnem os depósitos aluvionares, sedimentos de praias, dunas e coberturas colúvio-eluviais e têm

expressão hidrogeológica secundária e acessória, assim como os calcários da formação Gramame, considerados como um aquitardo por diversos autores (p. ex. COSTA *et al.*, 2007). As demais unidades hidroestratigráficas constituem aquíferos importantes no contexto hidrogeológico da região costeira, principalmente a Beberibe e a Barreiras (COSTA *et al.*, 2007).

Quadro 2.53 – Distribuição, características e natureza das unidades hidroestratigráficas presentes na área de estudo.

Sistemas Aquíferos	Unidades hidroestratigráficas	Área (km²)	Características	Natureza
Paraíba	Coberturas sedimentares	1836	Dunas, aluviões, coberturas colúvio-eluviais e sedimentos de praia (1)	Aquífero livre (1)
	Barreiras	2386	Arenitos finos a grossos, com intercalações argilosas e níveis conglomeráticos, siltitos e argilitos (1)	Aquífero livre a semilivre (1)
	Gramame	23	Calcários argilosos, calcários arenosos, calcarenitos, com intercalações finas de argila e marga (1)	Aquitardo / Aquiclude
	Beberibe	111	Arenitos heterogêneos, com cimento carbonático, intercalações de folhelhos e siltitos calcíferos (1)	Aquífero livre a semiconfinado a confinado (1)
Cristalino	Cristalino	852	Granitoides, rochas metamórficas e terrenos gnáissico-migmatíticos (2)	Aquífero livre (1)
Total		5208		
(1): Costa *et al.* (2007); (2): Accioly, (2000).				

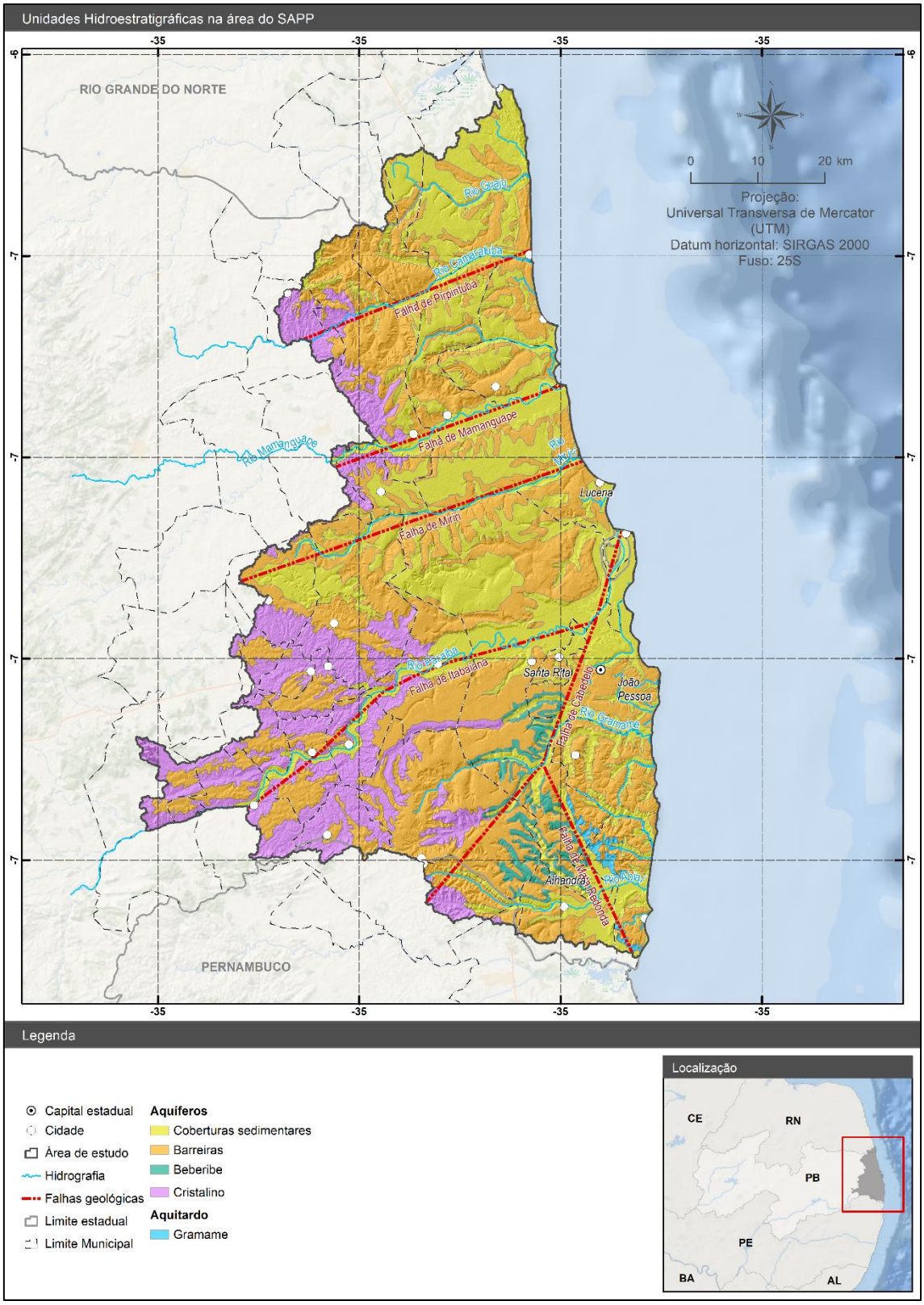


Figura 2.94 – Distribuição das unidades hidroestratigráficas aflorantes na área de estudo (CPRM, 2004).

O Aquífero Beberibe aflora descontinuamente nas porções mais dissecadas e deprimidas do relevo, a sul da Falha de Itabaiana, onde cobre área de apenas 111 km² da Bacia Paraíba e assenta-se sobre rochas pré-cambrianas do embasamento. Nas demais regiões da bacia encontra-se coberto pelos aquíferos Barreiras e Coberturas Sedimentares e, localmente, pelo Aquitardo Gramame. Essa unidade hidroestratigráfica compreende também as fácies litorânea-marinhas rasas que predominam na porção superior, atribuídas à Formação Itamaracá (COSTA *et al.*, 2007). Sua extensão em subsuperfície ainda não está claramente delimitada por conta da escassez e imprecisões de dados de poços. O Aquífero Beberibe, com base nos estudos existentes, é caracterizado como de extensão regional, natureza livre a semiconfinada/confinada, contínuo, heterogêneo, anisotrópico e de porosidade granular. Suas espessuras podem atingir entre 150 m e 250 m (LIMA *et al.*, 2004).

O Aquitardo Gramame aflora em extensão reduzida de cerca de 23 km², numa faixa descontínua orientada NW-SE, no extremo sul da Bacia Paraíba, onde encontra-se sobreposto ao Aquífero Beberibe. Sondagens elétricas indicaram que essa unidade hidroestratigráfica ocorre descontinuamente na bacia e de modo restrito no norte da área de estudo; sua espessura pode atingir até mais de 100 m e a média é de 50 m (COSTA *et al.*, 2007).

O Aquífero Barreiras aflora extensivamente por quase 2.400 km² da Bacia Paraíba, ora sobrepondo-se diretamente ao embasamento pré-cambriano, ora sobre o Aquitardo Gramame ou o Aquífero Beberibe, estando recoberto pelos sedimentos quaternários do Aquífero Coberturas Sedimentares em quase toda sua extensão. Em subsuperfície se estende por sob as Coberturas Sedimentares, ampliando sua área em mais de 1.800 km², que poderá ser mais bem dimensionada com a ampliação do conhecimento hidrogeológico. Com base nos estudos publicados, é caracterizado como de extensão regional, natureza livre a semilivre, contínuo, heterogêneo, anisotrópico e de porosidade granular. O Aquífero Barreiras apresenta espessuras variando entre 30 m e 120 m e ocorre sob a forma de extensos tabuleiros ou de suaves ondulações ao longo de todo o litoral (LIMA *et al.*, 2004).

Os depósitos quaternários compreendem dunas, aluviões e coberturas colúvio-eluviais e se estendem por mais de 1.800 km² da Bacia Paraíba, predominantemente sobre a unidade Barreiras, e integram o Aquífero Coberturas Sedimentares. De natureza livre e

porosidade granular, esses aquíferos superficiais possuem características litológicas que favorecem a infiltração por precipitação atmosférica e a recarga vertical dos aquíferos inferiores, contribuindo ainda com o escoamento de base da rede fluvial das bacias hidrográficas. As espessuras desse aquífero são reduzidas – estimadas entre 5 m e 20 m, mas eventualmente maiores – e não favorecem um grande armazenamento de água subterrânea.

Os aquíferos da porção litorânea da Paraíba, reunidos no SAPP, têm sido subdivididos em dois subsistemas com base em sua natureza (p. ex. AESA, 2022; COSTA *et al.*, 2007), conforme demonstrado abaixo:

- O subsistema livre, composto predominantemente por sedimentos do Grupo Barreiras e, eventualmente, pelos sedimentos quaternários (de praia, dunas e aluviões) que se lhe sobrepõem e, mais restritamente, pelos calcários sotopostos da Formação Gramame, podendo englobar, ainda que localmente, os arenitos calcíferos da porção superior da Formação Beberibe, denominada de Formação Itamaracá;
- O subsistema confinado, composto pelos arenitos quartzosos e/ou calcíferos da Formação Beberibe/Itamaracá, cuja unidade confinante superior é constituída ora pelas margas da formação Gramame, ora pelos níveis argilosos inferiores do Grupo Barreiras, ora por lentes argilosas ou de folhelhos que ocorrem no topo da formação Beberibe (Formação Itamaracá); a unidade confinante inferior é formada pelo embasamento pré-cambriano.

Todavia, a dificuldade de separação e delimitação das unidades hidroestratigráficas, tanto em campo como em perfurações, aliada à insuficiência de dados hidrogeológicos consistentes, tem feito com que o conjunto de aquíferos, aquitardos e/ou aquicludes integrantes do pacote sedimentar da Bacia Paraíba seja tratado como um sistema hidrogeológico único (COSTA *et al.*, 2007), de modo a possibilitar uma avaliação exequível desse reservatório subterrâneo. O Anexo VIII traz um detalhamento sobre os dados encontrados a respeito do que se tem conhecimento sobre a camada confinante e os limites que já foram definidos para esta camada ao longo da história recente sobre o que se conhece dos aquíferos do SAPP.

Costa *et al.* (2007) alertam que existem fortes indícios de que boa parte da área mapeada como Barreiras corresponda, de fato, à Formação Beberibe. No entanto, salienta que são necessários estudos sedimentares e estratigráficos detalhados associados ao mapeamento geológico para entendimento dessa questão.

2.2.7.2 Arcabouço de subsuperfície do - SAPP

O arranjo e distribuição dos reservatórios, conexões hidráulicas, espessuras, heterogeneidades e tipo de substrato (base do sistema) ou de cobertura (topo do sistema) são características que compõem o arcabouço dos aquíferos e determinam sua natureza. A distribuição das espessuras e a definição do contorno estrutural do embasamento são elementos indispensáveis para a configuração do arcabouço de subsuperfície dos aquíferos e cálculo das reservas hídricas subterrâneas.

São diversas as fontes de informação geológica que podem ser utilizadas, desde que disponíveis, para a configuração do arcabouço de subsuperfície, dentre as quais, podem ser destacados os cadastros de poços, perfilagens e sondagens geofísicas de superfície. Uma das fontes de informação mais importantes nos estudos de subsuperfície são os dados cadastrais de poço profundos.

O cadastro que apresenta informações técnicas sobre poços perfurados para captação de águas subterrâneas é o do SIAGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil. O cadastro SIAGAS da área de estudo reúne 1.712 dados de poços. Apresenta várias inconsistências como campos sem preenchimento, erros de coordenadas de localização, discriminações conflitantes dos sistemas aquíferos, dentre outras. Descrições de amostras litológicas foram registradas em apenas 129 poços (7,5% do total), sendo imprecisas e pouco detalhadas, dificultando a delimitação de topo e base das camadas aquíferas. O topo do embasamento do SAPP foi constatado em apenas nove poços (0,5% do total). Essa análise revela a falta de consistência dos dados e a carência de informações de qualidade desse cadastro.

Uma das mais importantes fontes de informações de subsuperfície são as perfilagens geofísicas. Estas apresentam resolução para distinguir e caracterizar aquíferos com espessuras de menos de um metro, o que as tornam essenciais nos estudos de subsuperfície, porém, não estão acessíveis ou inexistem na área de estudo. Os perfis

geofísicos registram as propriedades elétricas, eletromagnéticas, radioativas e acústicas das rochas, as quais são utilizadas para cálculo da porosidade, permeabilidade, salinidade das águas intersticiais, conteúdo de argila etc. (PAULA E SILVA, 2003).

Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), a despeito da baixa resolução vertical, também podem ser úteis na configuração do arcabouço de subsuperfície do sistema aquífero. Costa *et al.* (2007) realizaram 27 SEVs na Bacia Paraíba, 21 das quais constataram o substrato do SAPP.

Embora o número de registros do contato sedimento/embasamento obtido em sondagens elétricas verticais e em poços profundos (Quadro 2.54) seja insuficiente para configurar adequadamente o comportamento estrutural do substrato do SAPP, são os únicos dados disponíveis atualmente. Dessa forma, estes dados foram utilizados para traçar o contorno estrutural do topo do embasamento da Bacia Paraíba.

Quadro 2.54 - Profundidades do embasamento cristalino obtidas em SEVs e poços (SIAGAS).

Dados	UTM E (m)	UTM S (m)	Cota (m)	Prof. (m)	Cota Emb. (m)
SEV1	283804,00	9256051,00	34,00	465,00	-431,00
SEV2	275774,00	9250463,00	96,00	330,00	-234,00
SEV3	263340,00	9238248,00	92,00	140,00	-48,00
SEV4	265610,00	9238984,00	89,00	165,00	-76,00
SEV5	260522,00	9236655,00	103,00	52,00	51,00
SEV6	269984,00	9228977,00	152,00	380,00	-228,00
SEV7	266966,00	9234488,00	90,00	145,00	-55,00
SEV8	266871,00	9276944,00	97,00	340,00	-243,00
SEV9	280384,00	9268464,00	54,00	525,00	-471,00
SEV10	276352,00	9272827,00	10,00	420,00	-410,00
SEV11	266007,00	9258861,00	169,00	475,00	-306,00
SEV12	264859,00	9267683,00	138,00	360,00	-222,00
SEV13	276431,00	9243545,00	42,00	260,00	-218,00
SEV14	288498,00	9234885,00	80,00	440,00	-360,00
SEV15	279395,00	9231798,00	105,00	365,00	-260,00
SEV16	278347,00	9237374,00	63,00	265,00	-202,00
SEV17	284881,00	9244182,00	34,00	380,00	-346,00
SEV18	282662,00	9238150,00	51,00	250,00	-199,00
SEV19	279992,00	9217397,00	68,00	325,00	-257,00
SEV20	278945,00	9209513,00	81,00	270,00	-189,00
SEV24	299598,00	9189047,00	80,00	315,00	-235,00
2600009018	266702,29	9181508,48	171,00	148,00	23,00
2600008761	281327,29	9211011,50	67,00	213,00	-146,00
2600008767	281417,33	9211503,57	57,00	269,00	-212,00
2600008452	289093,08	9203332,36	41,00	283,00	-242,00
2600008470	288916,32	9208954,22	27,00	291,00	-264,00
2600008468	289789,36	9205608,94	34,00	292,00	-258,00
2600008446	294432,40	9210851,06	27,00	364,00	-337,00
2600008436	287262,00	9168946,00	47,00	219,00	-172,00
2600009018	266702,29	9181508,48	171,0	148,00	23,00

O processo de modelagem do contorno estrutural do embasamento do SAPP também levou em consideração as cotas do embasamento aflorante na área de estudo e utilizou ferramentas de geoprocessamento para interpolação dos dados. O mapa de contorno estrutural resultante é mostrado na Figura 2.95. Essa superfície representa um modelo simplificado da configuração do embasamento do SAPP esboçada a partir de escassos dados existentes e não reproduz as particularidades estruturais da bacia.

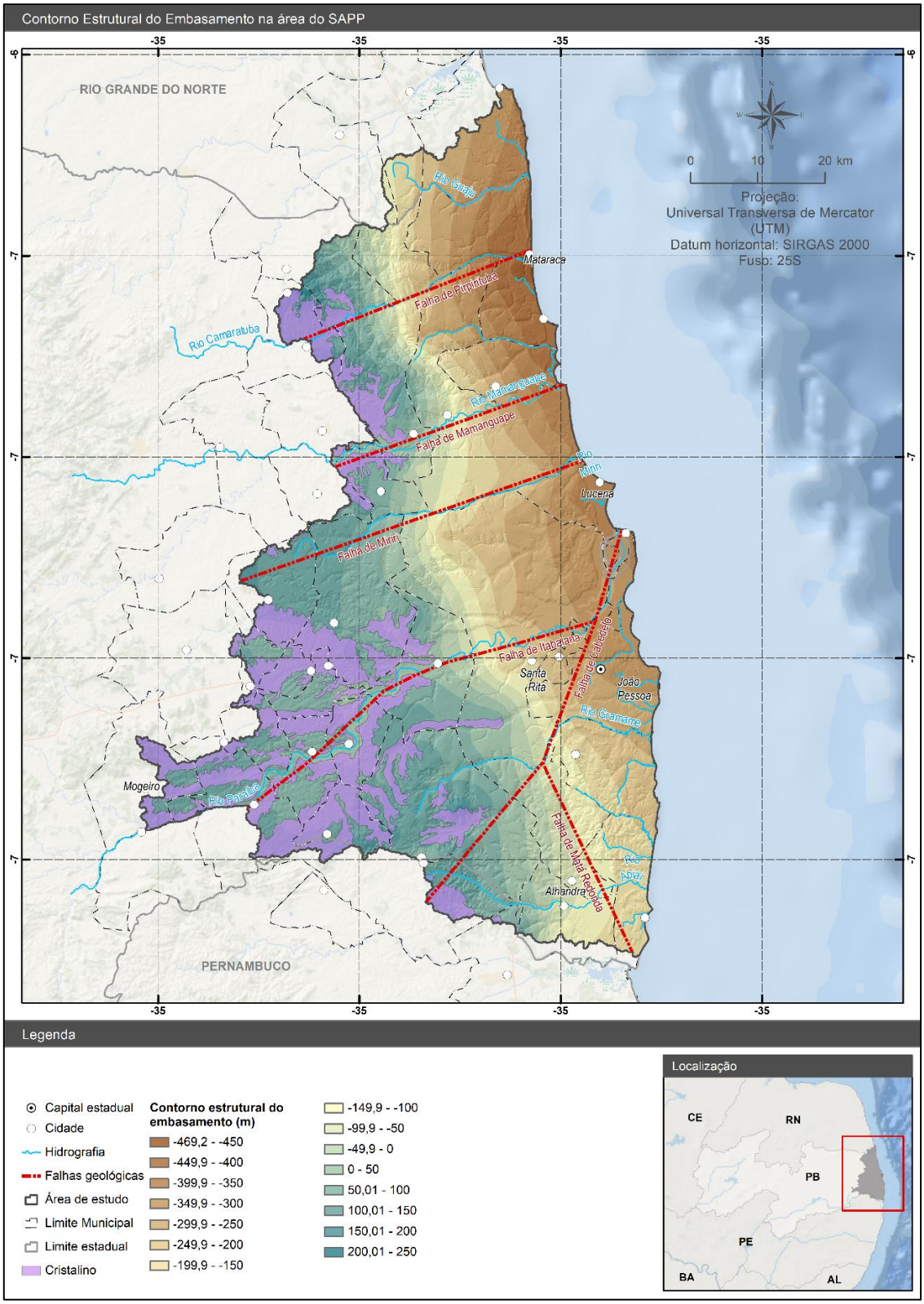


Figura 2.95 – Mapa de contorno estrutural do embasamento da Bacia Paraíba.

Fonte: adaptado de Costa *et al.* (2007) e SIAGAS.

2.2.7.3 Espessuras totais do - SAPP

As espessuras totais do SAPP compreendem todos os depósitos sedimentares ocorrentes na Bacia Paraíba, na área de estudo, saturados ou não. Essas espessuras foram estimadas por geoprocessamento a partir da subtração de grids entre o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o mapa de contorno estrutural do embasamento (Figura 2.95). O mapa das espessuras totais do SAPP é mostrado na Figura 2.96.

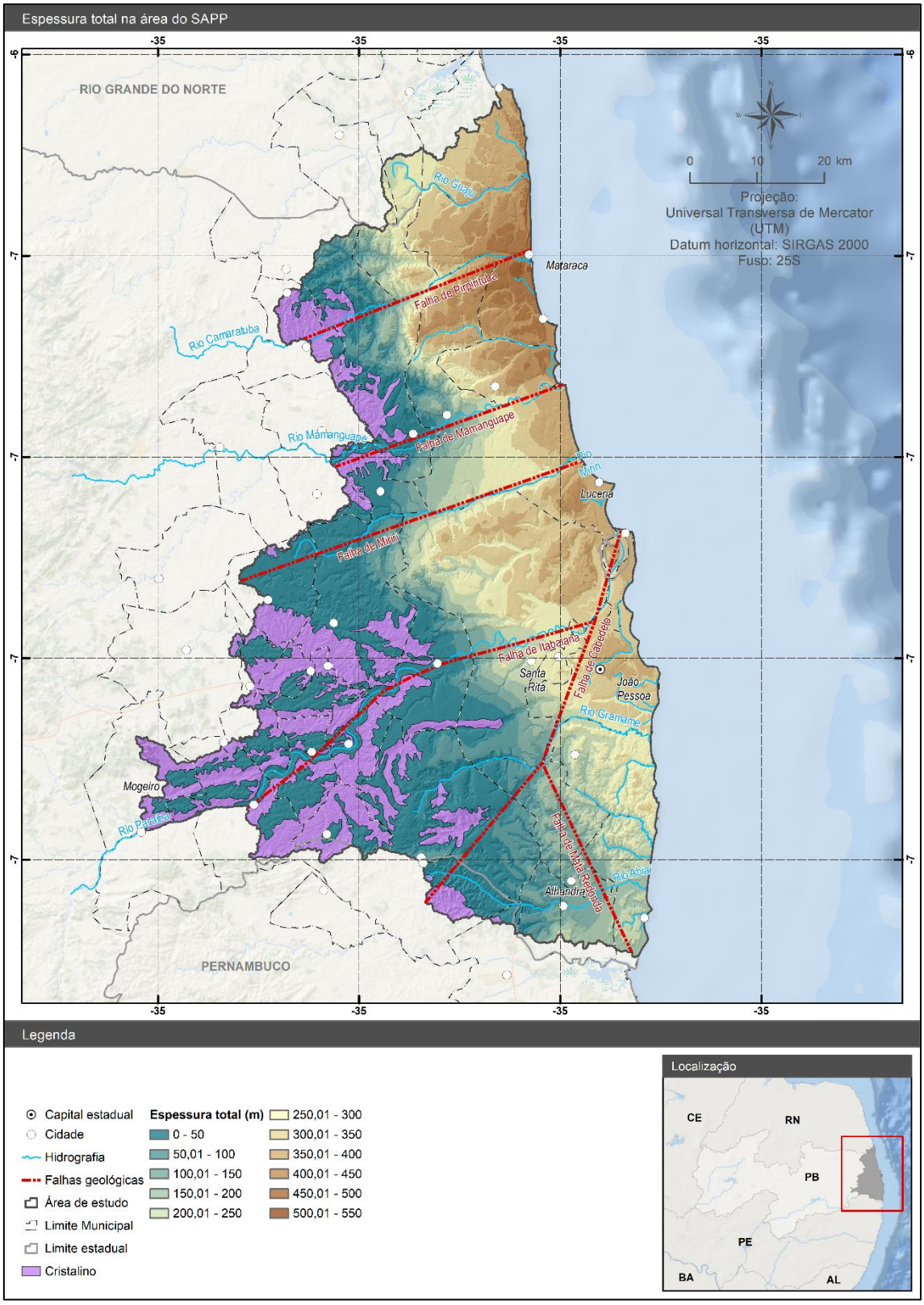


Figura 2.96 – Mapa de espessuras totais dos aquíferos da Bacia Paraíba.

As espessuras totais do SAPP mostram tendência de aumento no sentido do litoral, onde podem superar os 500 m. Dois depocentros principais se destacam (Figura 2.96): um a norte da Falha de Mamanguape, concentrando as maiores espessuras sedimentares da área, com máxima de 534 m e média de 285 m; e o outro entre as Falhas de Miriri e Itabaiana, com espessura máxima de 454 m e média de 212 m. Entre a Falha de Miriri e a de Mamanguape o substrato está um pouco mais elevado; a espessura máxima nessa área alcança 402 m e a média 174 m. Finalmente, a sul da Falha de Itabaiana a espessura máxima atinge 386 m e a média 135 m, caracterizando, também, um substrato relativamente mais elevado (Figura 2.96).

2.2.7.4 Potenciometria

Fetter (2001) define o termo potenciometria como a representação gráfica bidimensional da distribuição no terreno das cargas hidráulicas de aquíferos confinados e não confinados. No caso dos não confinados, as cargas hidráulicas representam a superfície freática dos aquíferos. A carga hidráulica representa a altura da água num ponto qualquer do terreno em relação a um determinado *datum* de referência – normalmente o nível do mar.

Os registros de nível de água em poços são influenciados por vários fatores. Todd (1959) cita variações no armazenamento do aquífero em função da retirada de água; efeito da interferência do bombeamento entre poços; evapotranspiração em aquíferos rasos; variações na recarga dependentes das precipitações pluviométricas, sazonalidade, variações de pressão atmosférica etc. Fetter (2001) também cita as variações de nível de água dependentes das condições de fluxo local, intermediário e regional.

Carnier Neto (2006) registrou ciclos sazonais de recarga por chuvas e descarga por fluxo natural (Figura 2.97 A) e variações devido ao efeito de maré terrestre em dois ciclos diários (Figura 2.97 B), com variações de amplitude maiores durante os períodos de lua cheia e lua nova, e menores nas fases lunares de crescente e minguante, em monitoramento contínuo da superfície livre do Aquífero Rio Claro (Cenozoico, Bacia do Paraná). Esse monitoramento mostrou que a recarga cresceu no período de 2002 a 2004 e decresceu em 2005.

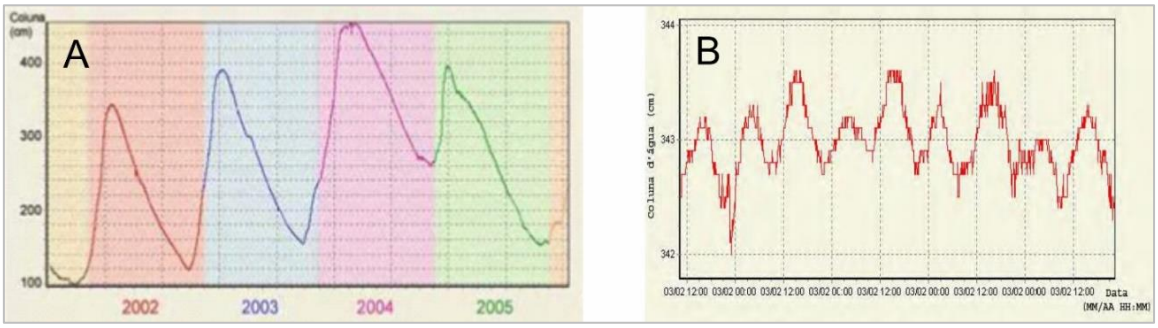


Figura 2.97 – Monitoramento de níveis de água de um aquífero livre. (A) Ciclos sazonais de recarga por chuvas e descarga natural; (B) Variações por efeito de marés terrestres.

A despeito de localmente existirem condições de confinamento, geralmente nas regiões mais profundas dos aquíferos, em praticamente todas as camadas superiores dos terrenos geológicos ocorrem aquíferos de natureza livre, cujo fluxo subterrâneo sustenta o escoamento dos cursos de água superficiais nos períodos de estiagem (fluxo de base).

Muitos estudos mostram que a superfície livre dos aquíferos superficiais normalmente apresenta a mesma conformação da superfície topográfica (FETTER, 2001), notadamente em regiões úmidas. Segundo o referido autor, áreas topográficas elevadas tem maior potencial de energia do que áreas topográficas mais baixas. Assim, a configuração do fluxo subterrâneo raso deve mostrar tendência de escoamento no sentido das drenagens e das porções mais elevadas para as menos elevadas do terreno.

Custódio e Llamas (1996) enfatizam que, devido às variações temporais de nível dos aquíferos, a superfície potenciométrica sempre deve referir-se a um período de tempo não muito longo. Em outras palavras, os valores de nível de água medidos para definição dessa superfície devem ser feitos dentro de um intervalo de tempo suficientemente pequeno, de modo a não incorporar variações importantes. Depreende-se, portanto, que o traçado da superfície potenciométrica com dados de níveis de água de diferentes períodos pode conter graves incorreções.

Para determinação da potenciometria da área de estudo foram utilizados 80 registros de nível estático de poços apresentados por Costa *et al.* (2007). Esses dados foram obtidos num mesmo período, todavia, em poços com diferentes profundidades e em diferentes condições – livres a semiconfinadas/confinadas (Quadro 2.55).

Quadro 2.55 – Dados de nível estático (NE) de poços levantados por Costa *et al.* (2007).

N°	Localidade	Município	utm-E	utm-N	Cota	NE (m)	Cota NE (m)
39	Sede	Alhandra	288939	9177184	23,00	4,20	18,80
41	Sede	Alhandra	289264	9177853	19,00	2,00	17,00
58	Tapuio	Alhandra	290009	9177973	66,00	58,00	8,00
89	Alto da Boa Vista	Bayeux	285615	9210707	55,00	79,15	-24,15
101	Sede Municipal	Bayeux	287824	9212216	10,00	13,50	-3,50
136	Termas	Bayeux	287975	9208471	51,00	87,19	-36,19
183	Av.Cleto Campello, 1.002 - Camalaú	Cabedelo	297582	9229018	2,00	1,27	0,73
184	Praia de Camboínha (R. João Vitaliano)	Cabedelo	298027	9225179	2,00	1,80	0,20
188	Conj. Residencial Príncipes de Micenas	Cabedelo	296022	9220606	4,00	13,20	-9,20
191	Granja Azul	Cabedelo	295589	9219854	7,00	5,50	1,50
208	Praia do Poço	Cabedelo	286368	9223566	2,00	5,27	-3,27
256	Conjunto dos Motoristas	Conde	299469	9192698	59,00	7,00	52,00
275	Grupo Escolar de Guruji	Conde	296033	9196328	74,00	59,00	15,00
344	Centro Cidade	Cruz do Espírito Santo	269206	9210248	25,00	4,00	21,00
354	Engenho São Paulo	Cruz do Espírito Santo	268546	9213748	28,00	2,00	26,00
356	Engenho São Paulo	Cruz do Espírito Santo	268362	9213747	24,00	1,10	22,90
398	Mercado Público	Cruz do Espírito Santo	268900	9210062	18,00	4,15	13,85

N°	Localidade	Município	utm-E	utm-N	Cota	NE (m)	Cota NE (m)
403	Santana	Cruz do Espírito Santo	264199	9204479	97,00	12,00	85,00
436	Sede do Município	Cruz do Espírito Santo	268808	9210123	17,00	3,50	13,50
547	Condomínio Residencial Coliseum	João Pessoa	296721	9214667	11,00	14,20	-3,20
549	Condomínio Residencial Gênova	João Pessoa	297029	9214305	9,00	17,63	-8,63
550	Condomínio Residencial Hannover	João Pessoa	297009	9214751	7,00	17,40	-10,40
551	Condomínio Residencial Imperial Palace	João Pessoa	297226	9214896	5,00	13,70	-8,70
552	Condomínio Residencial Maranata	João Pessoa	296847	9216022	5,00	10,70	-5,70
553	Condomínio Resid. Príncipe de Castela	João Pessoa	297953	9213513	2,00	19,50	-17,50
554	Condomínio Residencial Panorâmico	João Pessoa	297697	9212133	5,00	23,70	-18,70
555	Condomínio Residencial Portoviejo	João Pessoa	297443	9213610	5,00	17,00	-12,00
557	Condomínio Residencial Valparaíso	João Pessoa	296023	9216547	6,00	27,50	-21,50
559	Conjunto dos Bancários	João Pessoa	297236	9209406	40,00	49,97	-9,97
564	Conjunto José Américo	João Pessoa	294689	9207654	46,00	49,68	-3,68
716	Instituto dos Cegos	João Pessoa	294484	9212999	45,00	25,38	19,62
723	Mangabeira I	João Pessoa	296687	9206832	41,00	46,80	-5,80

N°	Localidade	Município	utm-E	utm-N	Cota	NE (m)	Cota NE (m)
724	Mangabeira II	João Pessoa	296477	9205753	42,00	45,35	-3,35
729	Mangabeira VII	João Pessoa	297699	9207091	36,00	50,44	-14,44
731	Marés	João Pessoa	289229	9208750	21,00	47,20	-26,20
732	Marmitaria Dona Rosana	João Pessoa	295317	9208725	41,00	23,90	17,10
754	Pavilhão do Chá	João Pessoa	291749	9212333	50,00	53,75	-3,75
789	Tambaú (Av.Rui Carneiro1	João Pessoa	297232	9214908	31,00	49,84	-18,84
792	Terminal Rodoviário	João Pessoa	291078	9212739	8,00	1,39	6,61
796	Torre	João Pessoa	294363	9212476	45,00	58,40	-13,40
802	Valentina I	João Pessoa	296790	9204221	32,00	37,70	-5,70
804	Valentina II	João Pessoa	296393	9203728	36,00	45,80	-9,80
807	Assentamento Oiteiro de Miranda	Lucena	289387	9235514	85,00	42,50	42,50
808	Baleia Magik Park	Lucena	294726	9229160	4,00	0,20	3,80
815	Costinha	Lucena	295001	9229518	5,00	1,80	3,20
818	Estivas do Geraldo	Lucena	280375	9235585	22,00	6,65	15,35
823	Guia	Lucena	292356	9230746	12,00	1,50	10,50
831	Marcos João	Lucena	291299	9234938	8,00	1,70	6,30
840	Sede CAGEPA R. João de S. Sobrinho	Lucena	293036	9237357	5,00	1,80	3,20
844	Sede CAGEPA R. Mário Falcão, 500	Lucena	293129	9237142	6,00	7,50	-1,50
848	St. Vieira	Lucena	291832	9233748	20,00	1,55	18,45
858	Cajazeiras	Mamanguape	263030	9273644	58,00	32,00	26,00

N°	Localidade	Município	utm-E	utm-N	Cota	NE (m)	Cota NE (m)
892	Fazenda Pindobal II	Mamanguape	267717	9241246	29,00	1,00	28,00
857	Brejinho	Mamanguape	256078	9260784	64,00	0,30	63,70
891	Fazenda Pindobal (Tabuleiro)	Mamanguape	268092	9241192	57,00	8,40	48,60
918	Brejinho	Marcação	284637	9256742	18,00	8,00	10,00
922	Caieira	Marcação	283964	9256094	34,00	24,00	10,00
924	Conjunto Mari	Marcação	277223	9251949	96,00	40,50	55,50
928	Grapiúna de Cima	Marcação	271242	9257240	49,00	6,00	43,00
1010	Nova Aurora	Pedras de Fogo	264511	9182029	161,00	12,00	149,00
1025	Santa Terezinha	Pedras de Fogo	261826	9196893	85,00	50,00	35,00
1041	Loteamento Marisco	Pitimbu	299871	9170868	3,00	15,00	-12,00
1051	Sítio Navalho	Pitimbu	297799	9168349	13,00	18,00	-5,00
1058	Barra de Mamanguape	Rio Tinto	287608	9249674	3,00	2,00	1,00
1063	Cajarana	Rio Tinto	269163	9263579	113,00	60,00	53,00
1071	Fazenda do Dr. Júlio	Rio Tinto	271374	9245668	3,00	1,00	2,00
1081	Jaraguá - Poço IV	Rio Tinto	272473	9247922	11,00	7,00	4,00
1096	Postinha Rio tinto	Rio Tinto	269077	9246451	9,00	6,00	3,00
1101	Praia de Campina	Rio Tinto	288443	9246452	2,00	8,00	-6,00
1131	Sítio Boa Vista	Rio Tinto	271119	9242920	33,00	10,50	22,50
1139	Taberaba	Rio Tinto	273699	9244200	11,00	0,80	10,20
1177	BR-230, Km 43,6 (DNIT)	Santa Rita	278300	9208814	76,00	41,00	35,00
1292	Tibiri II-Rua Campina Grande	Santa Rita	282564	9211370	66,00	74,00	-8,00
1300	Tibiri I	Santa Rita	281266	9210578	71,00	12,00	59,00

N°	Localidade	Município	utm-E	utm-N	Cota	NE (m)	Cota NE (m)
1336	Cobe	Sapé	264052	9209763	22,00	6,40	15,60
1352	IntraFruit Sapé	Sapé	252782	9215881	123,00	10,00	113,00
1379	Santa Helena I	Sapé	260530	9212617	101,00	9,15	91,85
1345	Fazenda Santa Luzia	Sapé	253302	9212457	83,00	0,80	82,20
1380	Santa Helena	Sapé	264309	9217899	100,00	19,00	81,00
1381	Santa Helena II	Sapé	262623	9214222	53,00	2,00	51,00

Uma vez que a superfície potenciométrica dos aquíferos superficiais é controlada pela altitude do terreno, os dados de altitude *versus* cota do nível de água devem mostrar uma correlação aproximadamente linear. A superfície potenciométrica de aquíferos confinados, ao contrário, não apresenta correlação entre esses dois parâmetros.

O gráfico da Figura 2.98 mostra a correlação entre a altitude do terreno e a cota do NE para o conjunto de poços levantados por Costa *et al.* (2007). Os dados mostram uma tendência geral positiva e grande dispersão dos pontos, indicando que as cargas hidráulicas (cota do NE) listadas na Figura 2.98 são de natureza diversa.

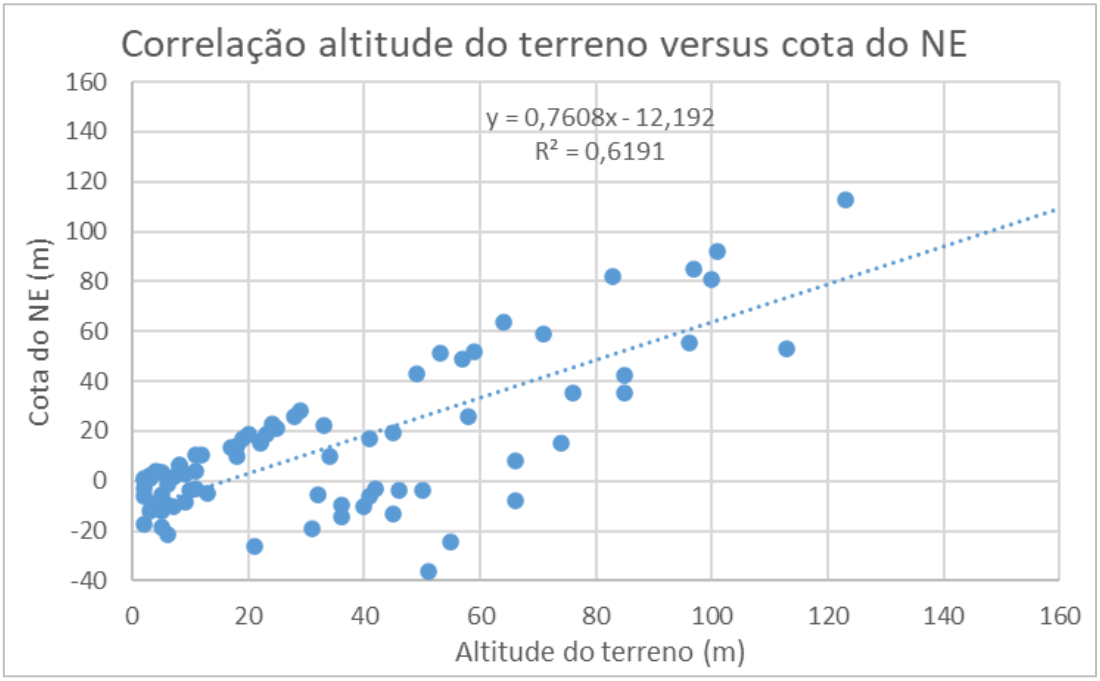


Figura 2.98 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE (dados de Costa *et al.*, 2007).

O gráfico da Figura 2.99 apresenta uma correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para dois conjuntos de dados: um conjunto representado por níveis estáticos menores ou iguais a 15 m (níveis rasos) e um conjunto representado por níveis estáticos maiores do que 15 m.

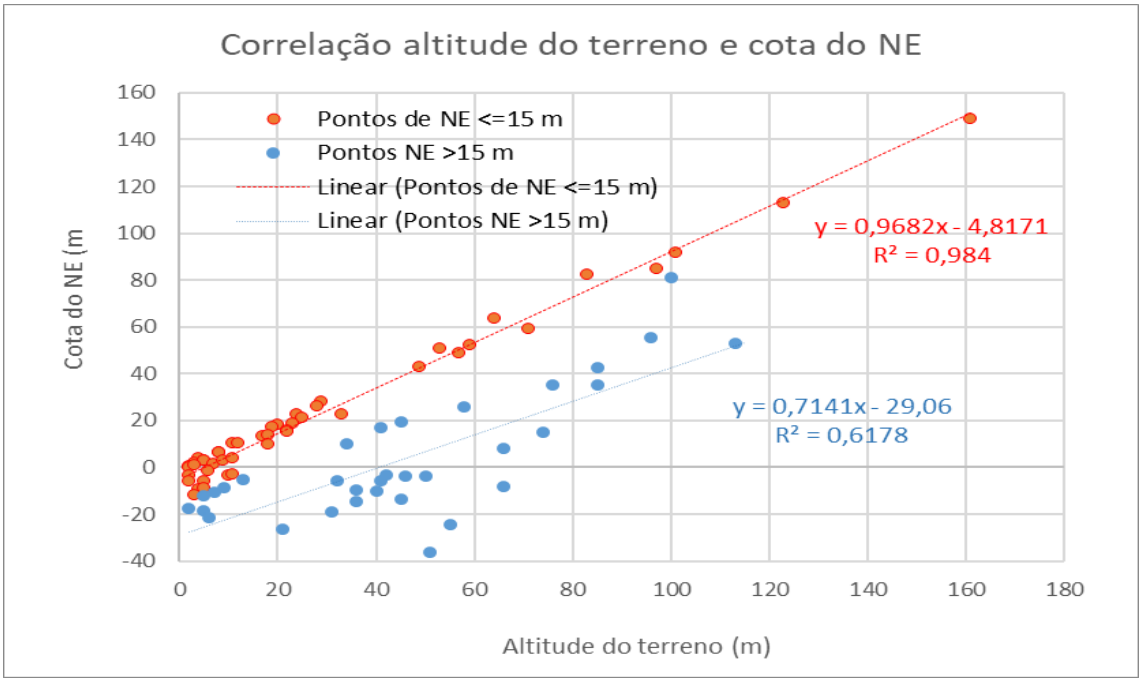


Figura 2.99 – Correlação altitude do terreno *versus* cota do NE com filtro para pontos com NE≤ a 15 m e NE > 15 m.

O primeiro conjunto de pontos mostra uma correlação aproximadamente linear, com um ajuste de 98% e forte controle topográfico, indicando que esses níveis estáticos correspondem a aquíferos livres, correspondentes às unidades hidroestratigráficas Barreiras e Coberturas Sedimentares.

O segundo conjunto mostra uma grande dispersão de pontos e ajuste grosseiramente linear de apenas 62%, com fraca correlação positiva, sugerindo um tênue controle topográfico. A análise desse conjunto sugere que esses níveis não correspondem a aquíferos livres.

O mesmo tipo de análise foi feito para o conjunto de poços com profundidade de até 50 m, incorporados ao cadastro do SIAGAS. A análise apresentou correlação positiva entre altitude e cota do NE, com ajuste linear de 98,9%, indicam tratar-se de aquíferos livres (Figura 2.100).

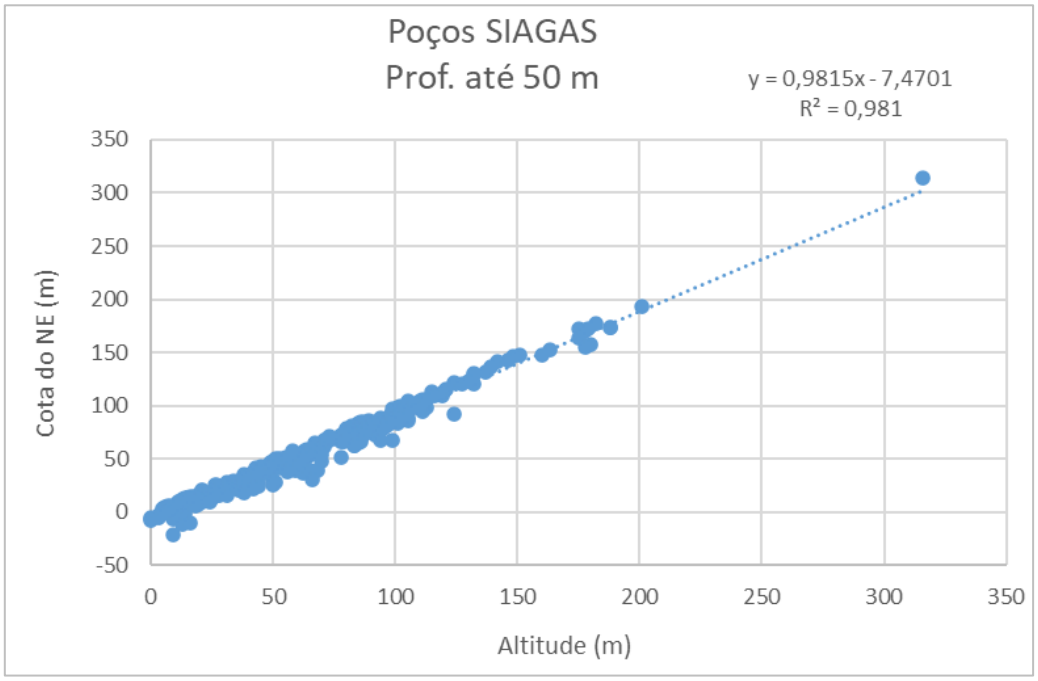


Figura 2.100 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 256 poços com profundidades de até 50 m (cadastro SIAGAS).

Para o conjunto de poços com mais de 100 m de profundidade, a correlação entre a altitude do terreno e a cota do NE apresenta grande dispersão de pontos e correlação inferior a 50%, indicando não se tratar de aquíferos livres (Figura 2.101).

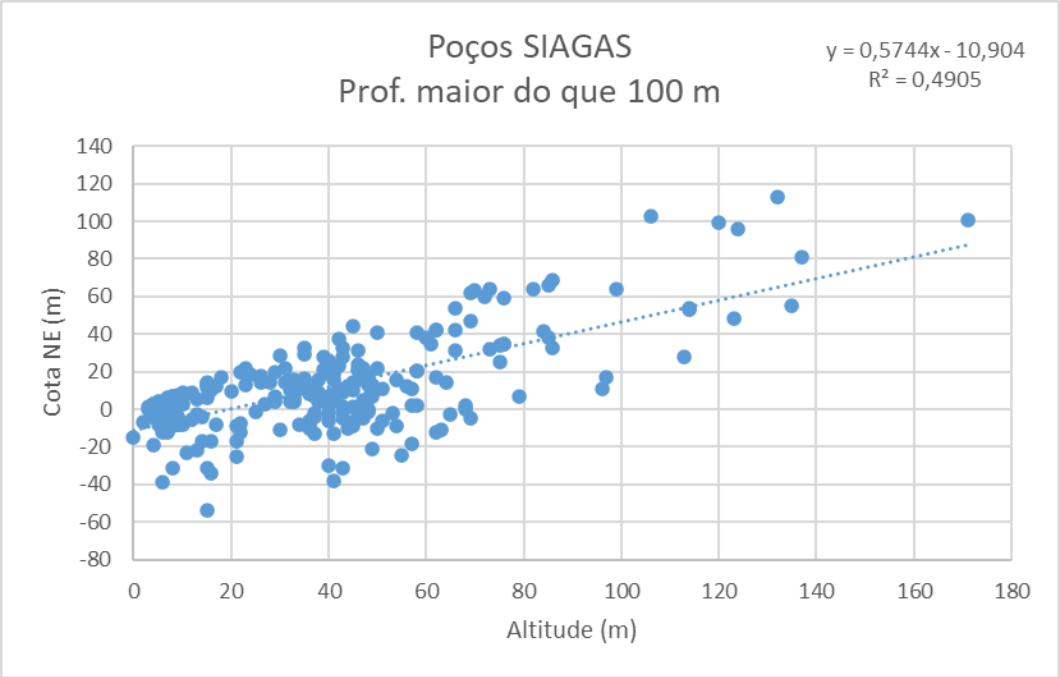


Figura 2.101 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 399 poços com profundidades maiores do que 100 m (cadastro SIAGAS).

Essa análise constitui um método prático que ajuda a identificar a natureza dos aquíferos e selecionar os dados que auxiliam na confecção dos mapas potenciométricos. Os resultados das correlações altitude *versus* cota do NE identificaram dois grupos distintos de carga hidráulica: um grupo com forte controle topográfico do escoamento subterrâneo representado pelos aquíferos livres; e um grupo com tênue controle topográfico e grande dispersão de dados, sugestivo de sistemas semiconfinados a confinados.

A potenciometria dos aquíferos rasos foi configurada com aplicação da equação de correlação do primeiro conjunto de dados plotados no gráfico da Figura 2.99 (y= 0,9682x - 4,8171) sobre os dados altimétricos do MDT da área estudada, dando origem ao arquivo *raster* representativo da distribuição das cargas hidráulicas do aquífero livre no terreno (Figura 2.102).

As equipotenciais foram representadas por isolinhas equidistantes 50 m, extraídas do *raster* de cargas hidráulicas com emprego de ferramentas de geoprocessamento. O mapa potenciométrico resultante mostra que o fluxo subterrâneo se dirige dos pontos mais elevados para os pontos mais deprimidos do terreno, coincidentes com os talvegues dos cursos de água superficiais.

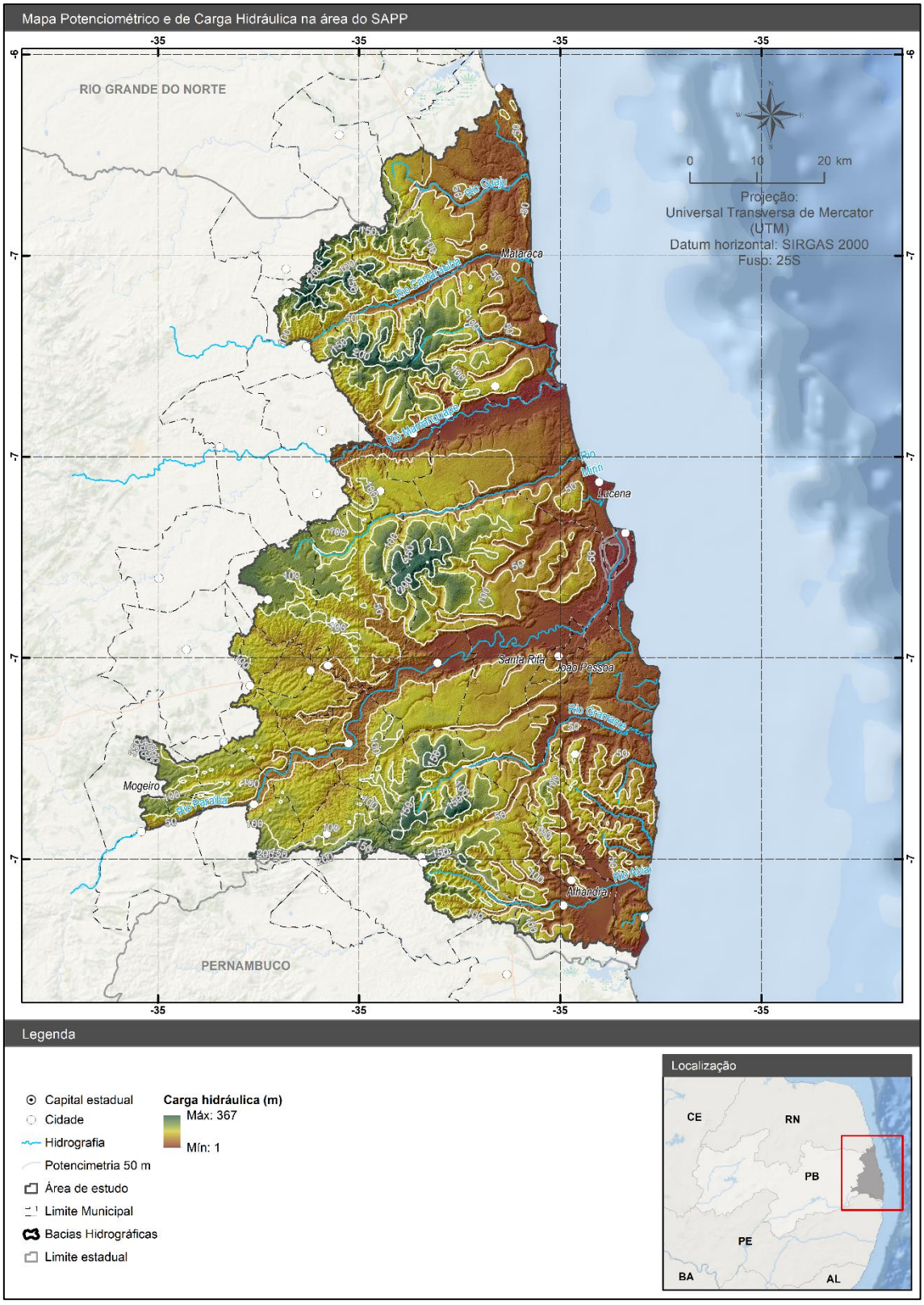


Figura 2.102 – Mapa potenciométrico dos aquíferos rasos da Bacia Paraíba.

2.2.7.5 Espessura saturada do SAPP

A espessura saturada do SAPP foi calculada por geoprocessamento. O método utilizado foi o da subtração de grids entre os mapas potenciométrico (Figura 2.102) e de contorno estrutural do embasamento (Figura 2.95), resultando no mapa de espessura saturada (Figura 2.103). Esse mapa mostra um incremento acentuado das espessuras saturadas em direção à costa, a partir dos limites próximos ao embasamento aflorante, e reflete um controle estrutural na sua distribuição, segundo falhamentos sugeridos por Costa *et al.* (2007).

Dois depocentros principais se destacam no mapa: um a norte da Falha de Mamanguape, concentrando as maiores espessuras saturadas, com máxima de 525 m e média de 278 m; e o outro entre as Falhas de Itabaiana e Miriri, com espessura máxima de 438 m e média de 206 m. Entre a Falha de Miriri e a de Mamanguape, a espessura máxima alcança 397 m e a média 170 m, indicando que o substrato cristalino nessa área se encontra mais elevado. Igualmente, a sul da Falha de Itabaiana o substrato encontra-se relativamente mais elevado, e as espessuras saturadas máxima e média são, respectivamente, 370 m e 130 m.

O volume rochoso saturado calculado por geoprocessamento foi de 782 km³ e a espessura média saturada do SAPP foi calculada em 187 m.

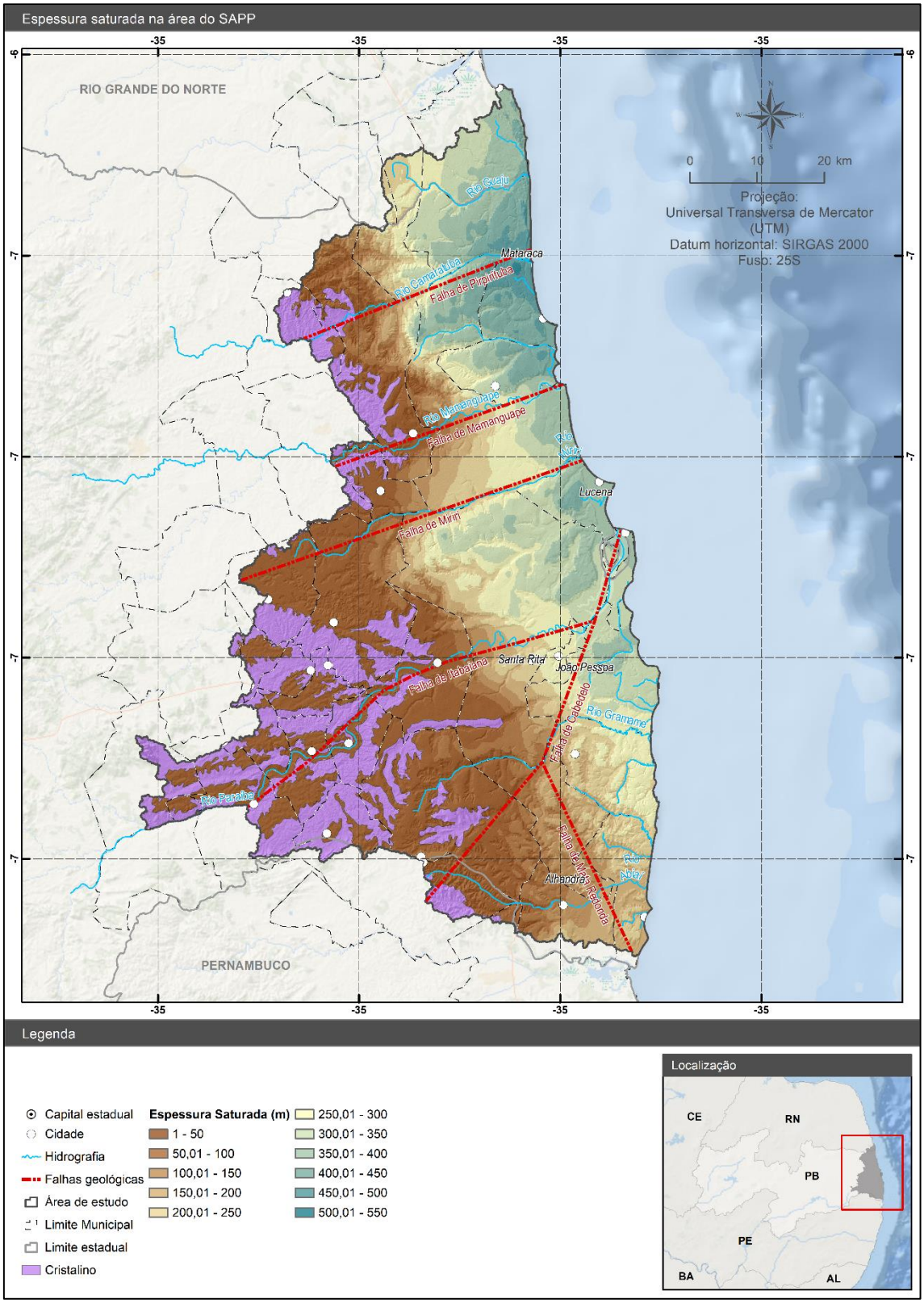


Figura 2.103 – Espessuras saturadas do SAPP.

2.2.7.6 Reservas hídricas subterrâneas do SAPP

As reservas hídricas subterrâneas compreendem a totalidade da água móvel existente em um sistema aquífero, ou seja, é a quantidade de água presente somente nas camadas permeáveis dos aquíferos (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996).

Segundo Mace *et al.* (2001), a quantidade de água contida nos aquíferos pode ser distinguida em armazenamento drenável e armazenamento compressível. O armazenamento drenável corresponde à quantidade de água que pode ser drenada do aquífero em função da porosidade efetiva da rocha; o armazenamento compressível corresponde à quantidade de água armazenada devido aos efeitos elásticos resultantes da compressão do arcabouço físico sobre os poros das rochas, e é função do coeficiente de armazenamento.

As reservas subterrâneas podem ser distinguidas em:

- Reservas reguladoras, renováveis ou ativas;
- Reservas permanentes ou seculares;
- Reservas totais;
- Reservas explotáveis.

As reservas reguladoras representam o volume de água subterrânea acumulado no aquífero em função, principalmente, da porosidade efetiva. Esse volume é renovado anualmente a cada ciclo hidrológico e, em condições naturais, varia em função da recarga direta provocada pelas precipitações atmosféricas, do escoamento natural (fluxo de base) e da parcela de infiltração profunda. As reservas renováveis são determinantes para a manutenção do fluxo de base e perenidade dos cursos de água superficiais (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996).

As reservas permanentes correspondem ao volume de água acumulado no aquífero, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996). Num aquífero não confinado, compreende o volume de água contido no armazenamento drenável permanente, abaixo do nível de oscilação sazonal. Fisicamente, as reservas permanentes drenáveis são definidas pela Equação 11:

$$Rpd = A.E.\emptyset e = V.\emptyset e$$ Equação 11

Onde: Rpd= reserva permanente drenável; A= área do aquífero; E= espessura do aquífero; Øe= porosidade efetiva; e V= volume rochoso saturado.

Em um aquífero confinado, as reservas permanentes referentes ao volume de água contido no armazenamento compressível são definidas fisicamente pela Equação 12:

$$Rpc = A.Ec.S$$ Equação 12

Onde: Rpc= reserva permanente compressível; A= área do aquífero; Ec= comprimento do topo do aquífero ao nível estático; S= coeficiente de armazenamento.

As reservas hídricas subterrâneas totais compreendem a soma das reservas renováveis e permanentes dos aquíferos.

As reservas explotáveis representam uma parcela das reservas totais dos aquíferos e, em tese, constituem a quantidade máxima de água que poderia ser extraída dos aquíferos, sem riscos de prejuízos ao manancial (CPRM, 1997). Do ponto de vista prático, corresponde à disponibilidade hídrica, conforme definição de alguns autores.

Este item apresenta o cálculo das reservas hídricas subterrâneas.

2.2.7.6.1 Reservas hídricas subterrâneas do SAPP

O cálculo das reservas permanentes drenáveis do SAPP leva em consideração o volume rochoso saturado do sistema aquífero e sua porosidade efetiva. O volume rochoso saturado do SAPP foi calculado em 782 km³.

A porosidade efetiva das rochas do SAPP ainda é desconhecida, conforme apontado em vários estudos publicados. Costa *et al.* (1998, 2007) admitiram uma porosidade efetiva de 10% para o sistema hidroestratigráfico Beberibe/Gramame/Barreiras, valor este que tem sido utilizado em vários estudos para o cálculo das reservas permanentes. Esse valor está abaixo dos percentuais estimados para arenitos com granulometria variando de fina a grossa (21% a 27%), conforme mostrados no Quadro 2.56, todavia, considerando as várias intercalações pelíticas que ocorrem em todo o SAPP, esse

número é aceitável e, na falta de valores obtidos em campo, também será utilizado neste estudo.

Quadro 2.56 – Valores de porosidade efetiva.

Tipo de rocha	Porosidade eficaz (%)	Fonte
Argila	2	UOP Johnson Division Inc. e CETESB (1978)
Areia argilosa	7	
Silte	18	
Areia fina	21	
Areia média	26	
Areia grossa	27	
Areia conglomerática	25	
Cascalho fino	25	
Cascalho médio	23	
Cascalho grosso	22	
Granito	<0,2	Custódio e Llamas (1996): compilação de vários autores
Calcário maciço	<0,5	
Dolomita	<0,5	
Basalto denso	<1	
Basalto vesicular	5	
Arenito	10	
Calcário detrítico	3	

Aplicando-se o valor de porosidade efetiva de 10% sugerido por Costa *et al.* (1998; 2007) sobre o volume rochoso saturado do SAPP, as reservas hídricas permanentes alcançam pouco mais de 78 km³ (Quadro 2.57). A distribuição das reservas permanentes do SAPP no Estado da Paraíba é mostrada na Quadro 2.57.

Quadro 2.57 – Reservas hídricas permanentes do SAPP.

Volume rochoso saturado (km³)	Porosidade efetiva (%)	Reservas permanentes (km³)
781,81	10	78,18

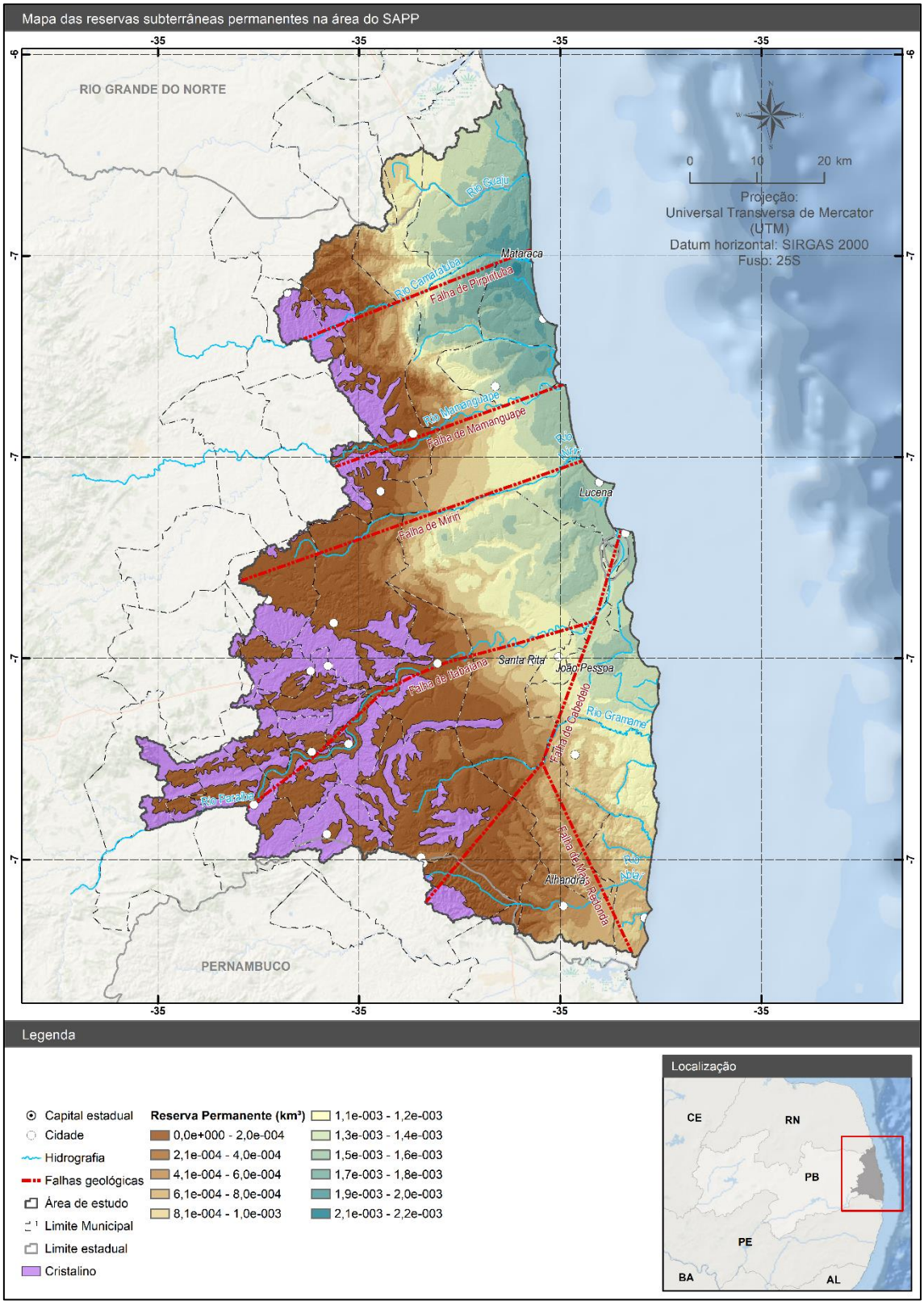


Figura 2.104 – Distribuição das reservas hídricas permanentes do SAPP.

2.2.7.6.2 Reservas hídricas reguladoras do SAPP

As reservas hídricas subterrâneas reguladoras foram estimadas com base em dados de séries históricas de precipitações atmosféricas na área do SAPP. A Agência Nacional de Águas (ANA, 2013a) define a Recarga Potencial Direta – RPD como a parcela da precipitação pluviométrica média anual que se infiltra no solo e efetivamente alcança os aquíferos livres, constituindo assim a reserva renovável ou reguladora. A equação simplificada (Equação 13) que estima a RPD é descrita abaixo:

$$RPD = A \cdot Ci.P \qquad \text{Equação 13}$$

Onde: A = área do aquífero; Ci= coeficiente de infiltração (%); e P= precipitação média anual na bacia hidrográfica.

Dados do PERH-PB (AESA, 2006) e de SUDENE/CONESP-OESA (1975) apontam coeficiente de infiltração de 12,7% da precipitação na área do SAPP. Com base em dados de monitoramento de nível de água no âmbito do Projeto BRAMAR, Fernandes (2017) estimou o coeficiente de infiltração de 11,7% da precipitação na bacia Gramame. Costa *et al.* (2007), por sua vez, propuseram um coeficiente variando de 11% a 15% para todo o SAPP. Braga (2014) estimou a porosidade efetiva em cerca de 14%, com base na aplicação da equação de Biecinski (PAZDRO, 1983) sobre a condutividade hidráulica obtida em modelagem de fluxo, em uma região sedimentar do baixo curso do Rio Paraíba. Neste diagnóstico, foi considerado um coeficiente de infiltração de 13% para a toda a área SAPP, fundamento nos estudos dos autores acima citados.

Aplicando-se o coeficiente de 13% sobre os valores de precipitação média anual distribuídos conforme o mapa de isoietas da Figura 2.43, e convertendo-se os valores para vazão, as reservas hídricas reguladoras atingem 0,78 km³/ano (Quadro 2.58). A distribuição das reservas reguladoras na área do SAPP é mostrada na Figura 2.105.

Quadro 2.58 – Reservas hídricas subterrâneas renováveis do SAPP.

Precipitação média na bacia (mm)	Coeficiente de infiltração (%)	Reserva reguladora (km³/ano)
1372	13	0,78

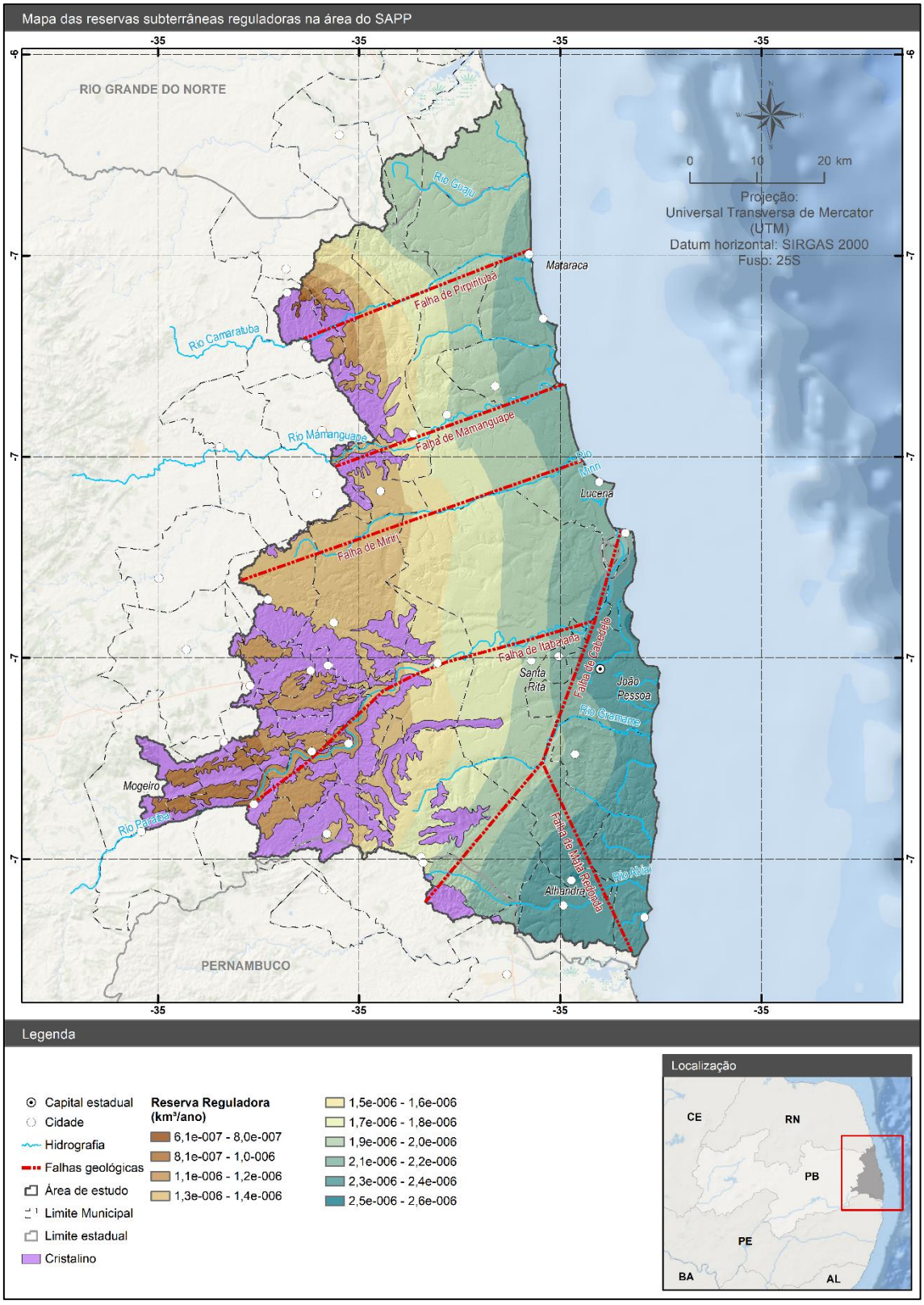


Figura 2.105 – Distribuição das reservas hídricas reguladoras do SAPP.

2.2.7.6.3 Reservas hídricas subterrâneas totais do SAPP

As reservas hídricas subterrâneas totais compreendem a soma das reservas renováveis e permanentes do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco. As reservas renováveis representam 0,1% das reservas permanentes.

Quadro 2.59 – Reservas hídricas subterrâneas totais do SAPP.

Reservas permanentes (km³)	Reserva reguladora (km³)	Reservas totais (km³)
78,18	0,78	78,96

2.2.7.7 Disponibilidades hídricas subterrâneas do SAPP

As disponibilidades representam uma parcela das reservas hídricas subterrâneas totais que podem ser extraídas anualmente do armazenamento dos aquíferos durante um determinado período planejado de modo a não causar interferências ambientais, econômicas e sociais graves.

Essa definição está atrelada ao conceito de sustentabilidade, cujo objetivo é realizar o aproveitamento racional e conservação dos recursos hídricos. A definição da parcela das reservas hídricas dos aquíferos que poderá ser utilizada anualmente deve ser fundamentada em diretrizes técnicas e políticas emanadas dos comitês de bacia e dos órgãos gestores.

Existem vários termos e conceitos associados à quantidade de água subterrânea disponível, e muita controvérsia sobre suas definições (DWR, 2003). Algumas dessas incluem a capacidade de armazenamento subterrâneo, a capacidade de armazenamento utilizável, o balanço hídrico, variações de armazenamento, superexplotação e vazão segura (DWR, 2003).

O *Texas Water Development Board* (TWDB) considera como disponibilidades hídricas subterrâneas o volume produzido pela recarga efetiva, mais a quantidade de água que pode ser extraída anualmente do armazenamento permanente durante um período de tempo programado, de modo a não causar danos ambientais irreversíveis, incluindo deterioração da qualidade da água (MACE *et al.*, 2001). A disponibilidade contempla várias alternativas em função dos distintos níveis de segurança do aquífero e do sistema hídrico superficial (CPRM, 2008).

Estudos hidrogeológicos realizados no Brasil pela ANA (2004, 2005a) consideraram a disponibilidade hídrica subterrânea como correspondente a 20% das reservas renováveis. Estudos realizados na década 90 na região metropolitana de São Paulo (SABESP-CEPAS, 1994) adotaram, em nível de planejamento, um percentual variando entre 25% e 50% das reservas renováveis. A ANA (2013a) tem utilizado o conceito de Reserva Potencial Explotável (RPE), definida por um coeficiente de sustentabilidade baseado em relações hidrológicas, aplicado sobre a Recarga Potencial Direta (RPD). Esse coeficiente de sustentabilidade não foi ainda estimado para a área do SAPP. Também não há definição, por parte do órgão gestor da Paraíba, de um coeficiente de sustentabilidade para esse sistema.

Cabe mencionar que nenhum dos estudos acima referidos contemplou a parcela das reservas permanentes nas disponibilidades totais, o que torna bastante restritivo o uso das águas subterrâneas em praticamente todo o território nacional, uma vez que as reservas reguladoras são bem menores. Este item apresenta o cálculo das disponibilidades hídricas subterrâneas.

2.2.7.7.1 Disponibilidades hídricas da reserva renovável do SAPP

Considerou-se neste diagnóstico como disponibilidade das reservas renováveis do SAPP a parcela de 50% dessas reservas. Para tanto, aplicou-se o coeficiente de 0,5 sobre as reservas reguladoras, de acordo com a Equação 14:

$$Drr = 0{,}5.\ Rr \qquad \text{Equação 14}$$

Onde: Drr= disponibilidades anuais da reserva renovável; Rr= reserva renovável.

As disponibilidades anuais das reservas hídricas subterrâneas renováveis são apresentadas no mapa da Figura 2.106 e correspondem 0,39 km³/ano (Quadro 2.60).

Quadro 2.60 – Disponibilidades das reservas hídricas renováveis do SAPP.

Reservas renováveis (km³/ano)	Coeficiente de sustentabilidade	Disponibilidades das reservas renováveis (km³/ano)
0,78	0,5	0,39

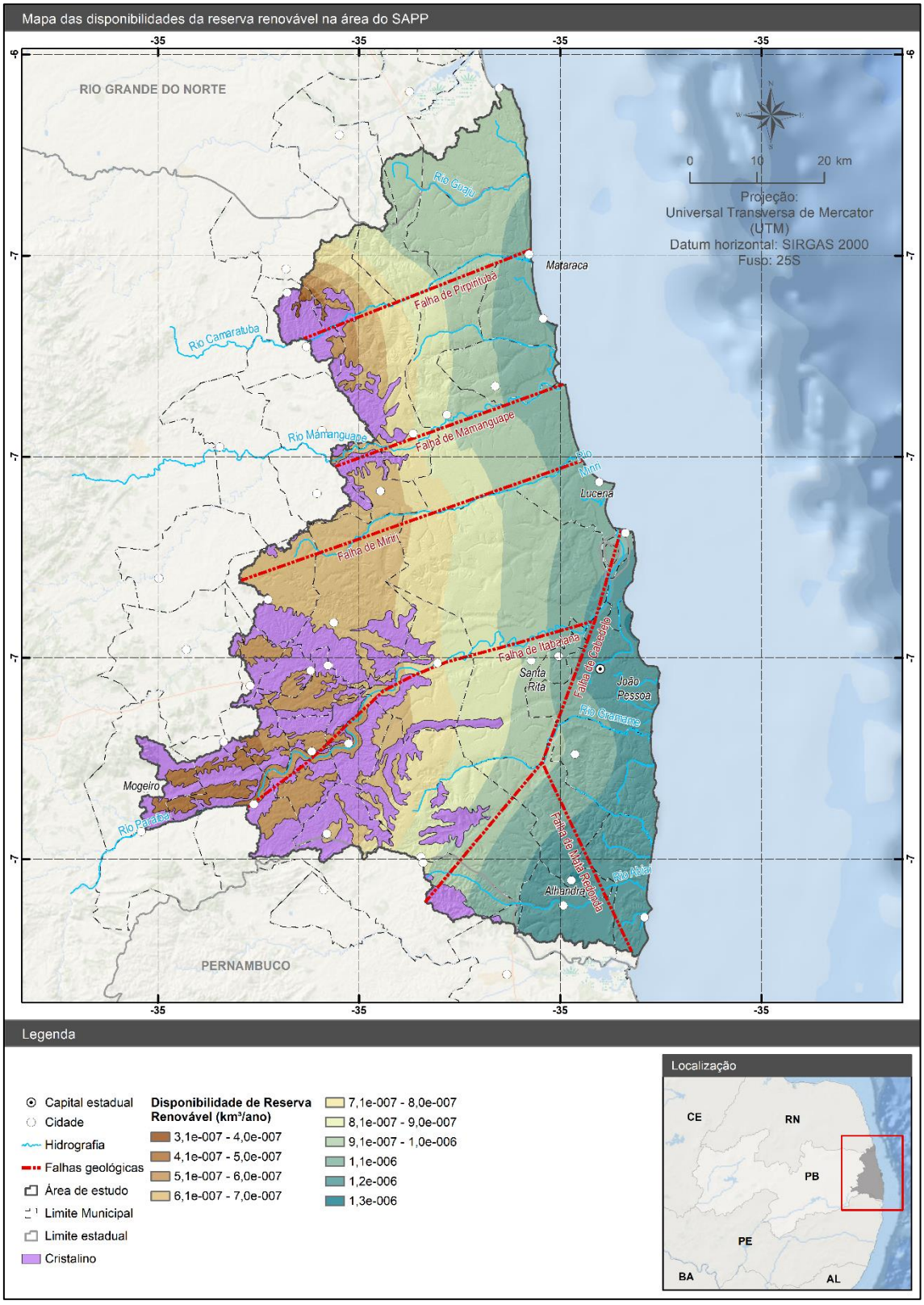


Figura 2.106 – Distribuição das disponibilidades da reserva hídrica renovável do SAPP.

2.2.7.7.2 Disponibilidades hídricas da reserva permanente do SAPP

Para avaliação das disponibilidades referentes às reservas permanentes considerou-se a proposição de Costa (1999), na qual 10% das reservas permanentes seriam explotadas em 50 anos. Esse percentual corresponde à retirada de 0,2% ao ano do volume armazenado no aquífero, de acordo com a Equação 15:

$$Drp = 0{,}002 . Rp$$ Equação 15

Onde: Drp= disponibilidades anuais da reserva permanente; Rp= reserva permanente.

As disponibilidades anuais das reservas hídricas subterrâneas permanentes são apresentadas no mapa da Figura 2.107 e correspondem a 0,16 km³/ano (Quadro 2.61).

Quadro 2.61 – Disponibilidades anuais das reservas hídricas permanentes do SAPP.

Reservas permanentes (km³)	Coeficiente de sustentabilidade	Disponibilidades das reservas permanentes (km³/ano)
78,18	0,002	0,16

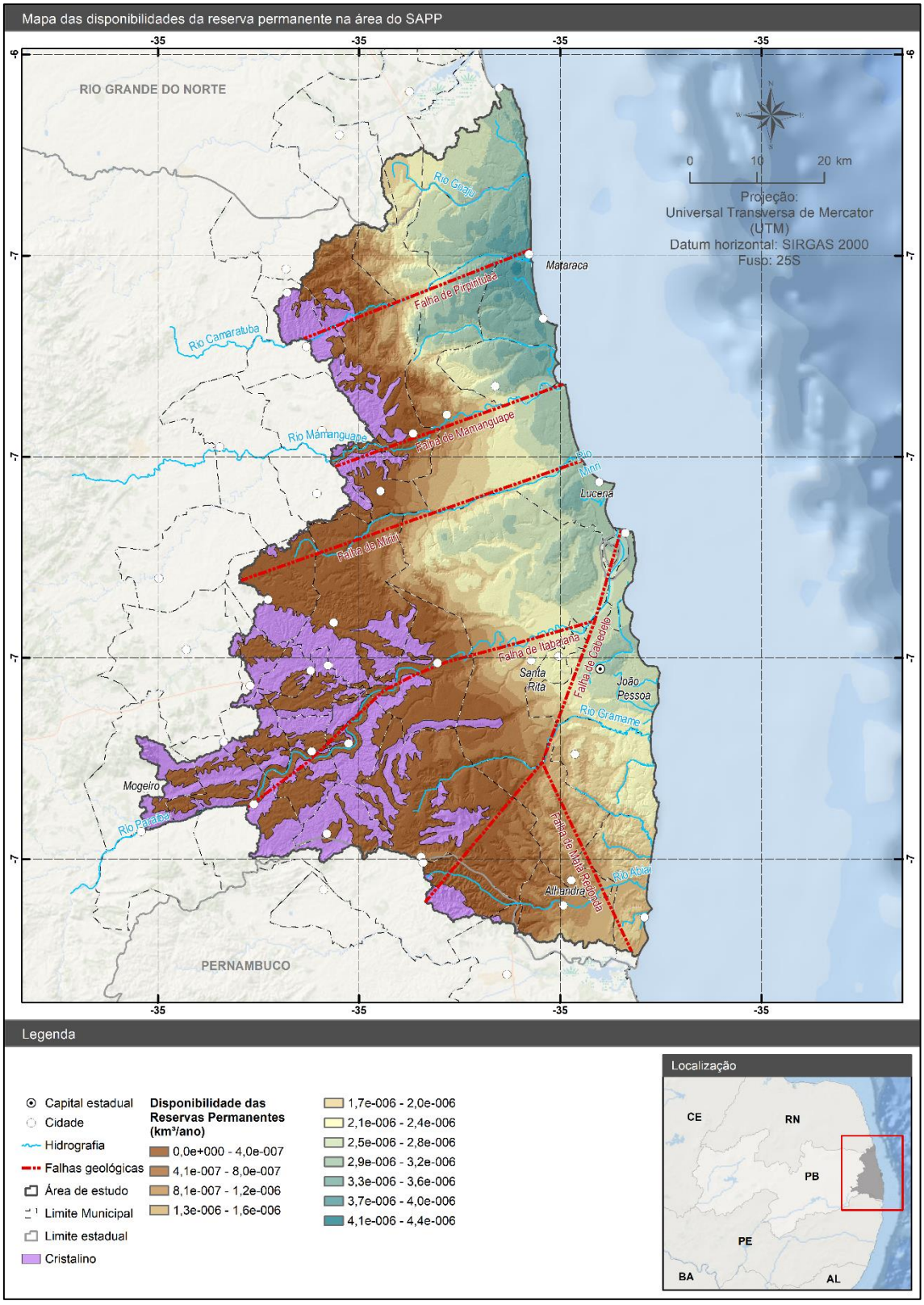


Figura 2.107 – Distribuição das disponibilidades da reserva hídrica permanente do SAPP.

2.2.7.7.3 Disponibilidades hídricas subterrâneas totais do SAPP

As disponibilidades hídricas totais anuais referentes às reservas renováveis e permanentes do SAPP somam 0,55 km³/ano (Quadro 2.62). A distribuição das disponibilidades totais do SAPP na área de estudo é mostrada na Figura 2.108.

Quadro 2.62 – Disponibilidades hídricas anuais totais do SAPP.

Disponibilidades das reservas permanentes (km³/ano)	Disponibilidades das reservas reguladoras (km³/ano)	Disponibilidades das reservas totais (km³/ano)
0,16	0,39	0,55

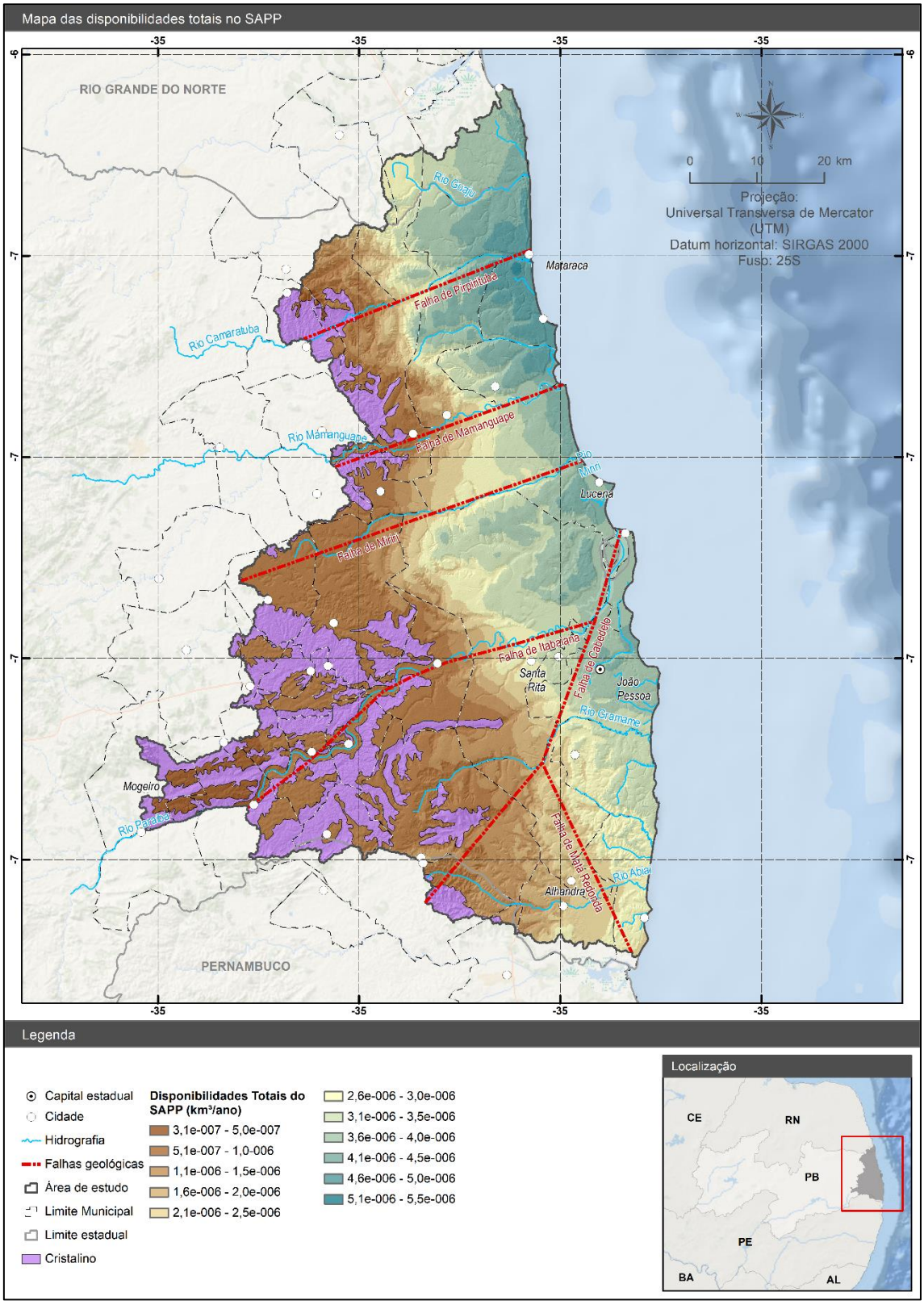


Figura 2.108 – Distribuição das disponibilidades anuais totais do SAPP.

2.2.7.8 Parâmetros hidrodinâmicos do SAPP

Os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos são obtidos a partir de testes de bombeamento, que podem ser classificados em testes de produção e testes de aquífero.

Os testes de produção têm o objetivo de determinar a vazão máxima de explotação e as perdas de carga lineares e exponenciais envolvidas no rebaixamento dos níveis de água do poço em operação. Esse tipo de teste fornece o parâmetro hidrodinâmico vazão específica ou capacidade específica (q/s), que é frequentemente utilizado para estimativa do potencial hídrico dos aquíferos ou rendimento do poço. A despeito de sua facilidade de obtenção, esse parâmetro tem o inconveniente de ser fortemente influenciado pelas características construtivas do poço, refletindo também em sua grandeza as perdas de carga devidas ao dano de formação (PAULA E SILVA, 2003).

Os parâmetros hidrodinâmicos que governam a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas no subsolo, responsáveis pela quantidade de água acumulada e explotável desses reservatórios são a porosidade efetiva (Øe), a condutividade hidráulica (K), a transmissividade (T) e o coeficiente de armazenamento (S). Esses parâmetros permitem caracterizar e predizer o comportamento do fluxo subterrâneo em situações de interferência entre poços, infiltração de contaminantes, rebaixamentos de longo termo etc., fornecendo os elementos necessários ao conhecimento e à gestão dos recursos hídricos subterrâneos. São obtidos a partir de testes de aquífero, que consistem no bombeamento de um poço com descarga constante e acompanhamento da evolução do rebaixamento em um ou mais poços de observação. Comumente, a transmissividade (K) é estimada com base nas curvas de rebaixamento e de recuperação do próprio poço de bombeamento, de modo a se obter uma ordem de grandeza desse parâmetro. Todavia, o resultado reflete os rebaixamentos adicionais devidos às perdas de carga construtivas e ao dano de formação do poço, de modo que o valor calculado é menor do que o real. Resultados mais ajustados para cálculo da transmissividade podem ser obtidos com a utilização da curva de recuperação do poço.

Em termos regionais, CPRM (2019) elaborou uma caracterização hidrogeológica do SAPP, distinguindo seis unidades hidroestratigráficas e caracterizando-as em termos de classes de vazão (Figura 2.109) e de parâmetros hidrodinâmicos (Quadro 2.63).

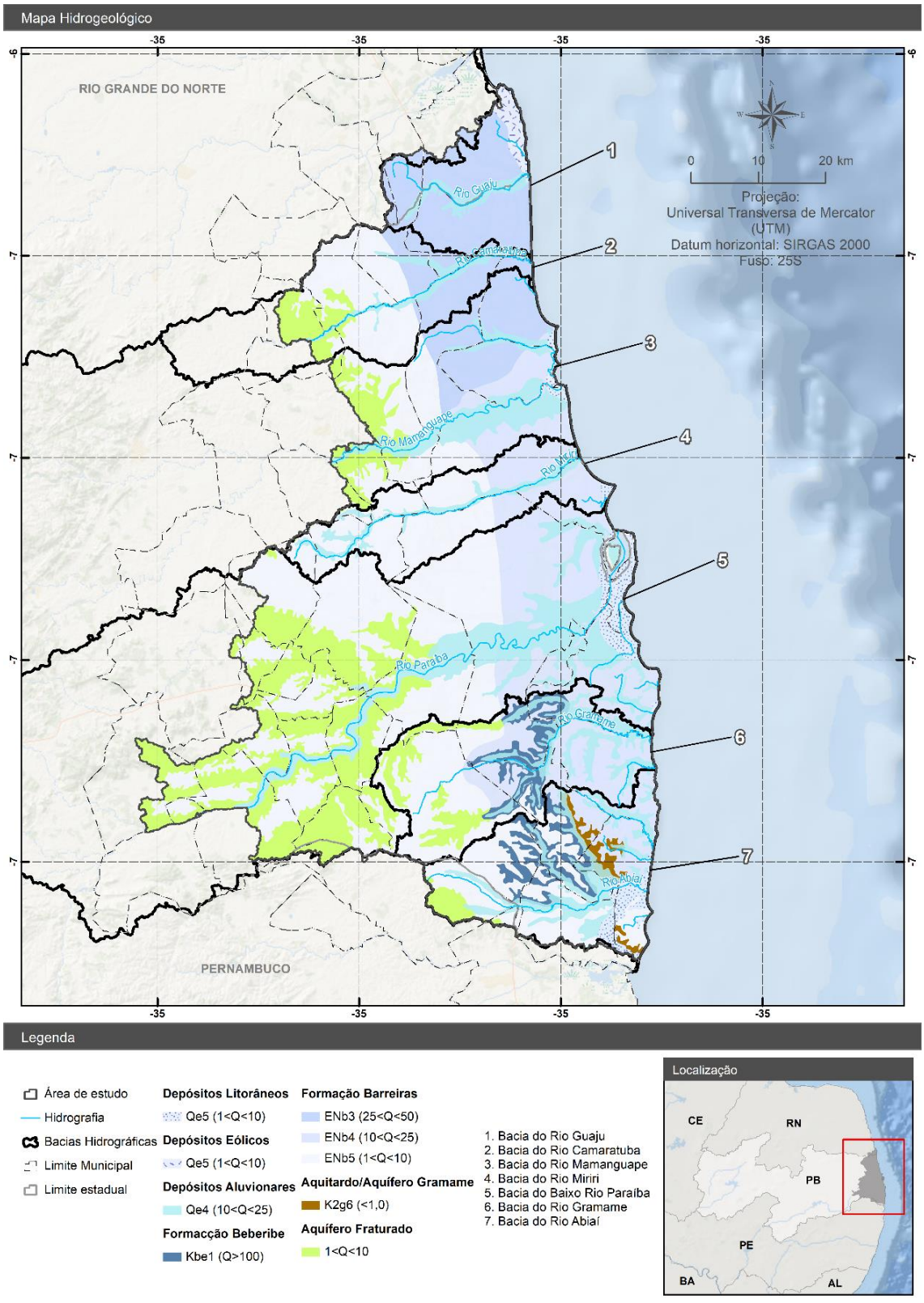


Figura 2.109 – Mapa hidrogeológico da área de estudo (CPRM, 2019).

Quadro 2.63 – Classes de vazão e parâmetros hidrodinâmicos das unidades hidroestratigráficas representadas no mapa hidrogeológico da Figura 2.109.

Classe	Granular	Q (m^3/h)*	Q/s ($m^3/h/m$)*	T (m^2/s)	K (m/s)
(1)		Q ≥ 100	Q/s ≥ 4,00	$T \geq 10^{-2}$	$K \geq 10^{-4}$
(2)		50 ≤ Q < 100	2,00 ≤ Q/s < 4,00	$1,0 \times 10^{-3} \leq T < 1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-5} \leq K < 1,0 \times 10^{-4}$
(3)		25 ≤ Q < 50	1,00 ≤ Q/s < 2,00	$1,0 \times 10^{-4} \leq T < 1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-6} \leq K < 1,0 \times 10^{-5}$
(4)		10 ≤ Q < 25	0,40 ≤ Q/s < 1,00	$1,0 \times 10^{-5} \leq T < 1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-7} \leq K < 1,0 \times 10^{-6}$
(5)		1 ≤ Q < 10	0,04 ≤ Q/s < 0,40	$1,0 \times 10^{-6} \leq T < 1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-8} \leq K < 1,0 \times 10^{-7}$
(6)		Q < 1	Q/s < 0,04	$T < 1,0 \times 10^{-6}$	$K < 1,0 \times 10^{-8}$

Os aquíferos formados por depósitos eólicos e litorâneos fornecem vazões baixas, entre 1,0 m³/h e 10,0 m³/h, e possuem condutividade hidráulica (K) menor do que $1,0 \times 10^{-7}$ m/s, transmissividade (T) menor do que $1,0 \times 10^{-5}$ m²/s e vazão específica (Q/s) inferior a 0,4 m³/h/m (CPRM, 2019).

Os aquíferos aluvionares permitem a extração de vazões variando de baixa a moderada, entre 10,0 m³/h a 25,0 m³/h. As vazões específicas variam de 0,4 m³/h/m a 1,0 m³/h/m, as condutividades hidráulicas situam-se entre $1,0 \times 10^{-7}$ m/s e $1,0 \times 10^{-6}$ m/s e as transmissividades variam entre $1,0 \times 10^{-5}$ m²/s e $1,0 \times 10^{-4}$ m²/s (CPRM, 2019).

O Aquífero Barreiras apresenta grande variação de vazões, desde baixas (1,0 m³/h) até altas (50 m³/h). As vazões específicas situam-se entre 0,04 m³/h/m e 2,0 m³/h/m. As condutividades hidráulicas variam de $1,0 \times 10^{-8}$ m/s a $1,0 \times 10^{-5}$ m/s e as transmissividades variam de $1,0 \times 10^{-6}$ m²/s a $1,0 \times 10^{-3}$ m²/s (CPRM, 2019).

A CPRM (2019) classifica a unidade hidroestratigráfica Gramame como um aquitardo e, eventualmente, como um aquífero de baixa produtividade, com vazão menor do que 1,0 m³/h e vazão específica inferior a 0,04 m³/h/m. A condutividade hidráulica é menor do que $1,0 \times 10^{-8}$ m/s e a transmissividade não alcança $1,0 \times 10^{-6}$ m²/s (CPRM, 2019).

O Aquífero Beberibe é a unidade que apresenta melhor produtividade na área. As vazões podem ser superiores a 100 m³/h e as vazões específicas podem ultrapassar 4,0 m³/h/m. As condutividades hidráulicas e as transmissividades são acima de, respectivamente, a $1,0 \times 10^{-4}$ m/s e $1,0 \times 10^{-2}$ m²/s (CPRM, 2019).

Lima *et al.* (2004), no entanto, apresentam vazões menores para os poços no Aquífero Beberibe na Folha João Pessoa, destacando que apenas os poços com mais de 250 metros atingem as vazões de 100 m^3/h.

Testes de bombeamento realizados por Costa *et al.* (2007) no Aquífero Beberibe apontaram condutividades hidráulicas calculadas variando de 2,66 x 10^{-6} m/s a 6,22 x 10^{-5} m/s e transmissividades de 2,45 x 10^{-4} m^2/s e 4,79 x 10^{-3} m^2/s. O coeficiente de armazenamento foi calculado em 1,5.10^{-5}, por meio de um único ensaio com poço de observação (Quadro 2.64).

Quadro 2.64 – Resultados dos ensaios de bombeamento (COSTA *et al.*, 2007).

Local	Município	Aquífero	Prof. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Vazão (m^3h)	T (m^2/d)	K (m/d)	S
Hosp. Universitário	J. Pessoa	Beberibe	140	43,9	54,7	16,16	209,50	5,24	
Cruz das Armas	J. Pessoa	Beberibe	202	46,1	72,1	54,60	136,15	1,18	
Alto do Mateus	J. Pessoa	Beberibe	300	44,5	61,8	39,60	66,67	0,24	
Loteam. Solimões	J. Pessoa	Bar./Beber	120	21,8	32,1	15,53	223,00	2,62	
Distrito Industrial	J. Pessoa	Beberibe	84	32,9	33,6	27,31	356,79	5,94	1,5.10^{-5}
Marcação I	Marcaçã	Beberibe	126	71,6	87,9	18,86	92,78	1,03	
Marcação II	Marcaçã	Beberibe	121	68,8	100	9,43	21,25	0,23	
Mata Redonda	Alhandra	Bar./Beber	100	7,1	31,2	49,50	48,54	1,21	
Uruba	Mataraca	Beberibe	122	74,8	77,2	9,10	414,26	5,37	
Cajarana	Rio Tinto	Beberibe	102	60,6	69,7	8,61	181	3,02	
Fagundes	Lucena	Barreiras	20	1,2	11,0	24,00	2.646,0	207,4	1,2.10^{-4}

Costa *et al.* (2007) consideram como parâmetros hidrodinâmicos de referência para o Aquífero Beberibe os valores: condutividade hidráulica 2,7x10-5 m/s, transmissividade 1,60x10^{-3} m^2/s e coeficiente de armazenamento 1,5x10^{-4}. Para o Aquífero Barreiras, os valores de referência são: condutividade hidráulica 1,0x10^{-4} m/s, transmissividade 1,7x10^{-3} m^2/s e coeficiente de armazenamento 5,0x10^{-4}.

A partir da base consolidada de dados cadastrais de poços (BD Poços), contendo 1.132 dados de captações tubulares, foram analisados os parâmetros hidráulicos vazão e vazão específica. Esses parâmetros foram analisados incialmente por aquífero e depois em termos gerais, considerando todas as unidades hidroestratigráficas reunidas no SAPP.

O Aquífero Dunas, agrupado neste estudo no Aquífero Coberturas Sedimentares, apresenta apenas três registros de poços, insuficientes para uma análise estatística. O Aquífero Barreiras está relacionado no banco de dados a apenas 35 registros. Desse total, somente 31 registros listam vazões captadas e 30 listam vazões específicas. As vazões registradas variaram de 2,4 m³/h a 117,4 m³/h, com média de 26,6 m³/h e mediana de 14,9 m³/h. As vazões específicas registradas variaram de 0,12 m³/h/m a 6,7 m³/h/m, com média de 1,5 m³/h/m e mediana de 1,3 m³/h/m.

Quadro 2.65 – Parâmetros hidrodinâmicos estatísticos do Aquífero Barreiras.

Parâmetro	Número	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Vazão (m³/h)	31,00	2,37	117,39	26,60	14,90
Vaz. Espec. (m³/h/m)	30,00	0,12	6,66	1,51	1,25

O mais importante aquífero da área de estudo, o Beberibe, está relacionado no BD Poços a apenas nove registros, dos quais somente sete listam os parâmetros hidrodinâmicos aqui analisados. As vazões registradas variaram de 4,0 m³/h a 210,0 m³/h, com média de 51,3 m³/h e mediana de 20,0 m³/h. As vazões específicas registradas variaram de 0,16 m³/h/m a 4,0 m³/h/m, com média de 1,9 m³/h/m e mediana de 2,2 m³/h/m.

Quadro 2.66 – Parâmetros hidrodinâmicos estatísticos do Aquífero Beberibe.

Parâmetro	Número	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Vazão (m³/h)	7,00	3,99	210,00	51,34	20,00
Vaz. Espec. (m³/h/m)	7,00	0,16	3,99	1,94	2,20

A maioria dos dados cadastrais de poços tubulares listados no BD Poços – em número de 1.075 – não faz referência ao aquífero captado. Destes, apenas 273 (25%) trazem informações sobre os parâmetros hidrodinâmicos vazão e vazão específica. As vazões registradas variaram de 0,07 m³/h a 210,0 m³/h, com média de 20,6 m³/h e mediana de 7,0 m³/h. As vazões específicas registradas variaram de 0,01 m³/h/m a 16,8 m³/h/m, com média de 1,8 m³/h/m e mediana de 1,1 m³/h/m.

Quadro 2.67 – Parâmetros hidrodinâmicos estatísticos dos aquíferos não identificados.

Parâmetro	Número	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Vazão (m³/h)	272,00	0,07	210,00	20,59	6,99
Vaz. Espec. (m³/h/m)	162,00	0,01	16,18	1,77	1,13

Através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil, foi possível acessar uma base de dados de poços e de informações hidrogeológicas em forma de consulta. Foram obtidos 1.711 cadastros de poços localizados na área de interesse, com dois poços amazonas, 28 poços escavados, um poço ponteira, 1.131 poços tubulares e 549 sem informação de tipo. Os instrumentos foram separados em três grupos:

- Grupo 1: captação profunda – classificados como poços tubulares e ponteira;
- Grupo 2: captação rasa – classificados como poço amazonas e escavado;
- Grupo 3: sem informação do tipo de captação.

No Grupo 1, 50% dos dados de NE se encontram entre 8,06 mNM e 69,00 mNM, e ND entre 27,17 mNM e 17,00 mNM. No que diz respeito à profundidade dos poços cadastrados do Grupo 1, a média é de 71,09 m, com cerca de 25% inferior a 33,00 m, 50% a 50 m e 75% inferior a 88,00 m (Figura 2.110).

O Grupo 2, composto pelos poços rasos – poço amazonas e escavado, com apenas 30 registros, se distribui pela bacia do rio Miriri, Paraíba, Gramame e Abiaí. A profundidade média dos instrumentos é de 15,98 m, com 25% dos dados inferior a 9,50 m, 50% inferior a 16,50 m e 75% inferior a 20,00 m. Em relação ao nível estático, um quarto tem cota de NE inferior a 44,75 mNM, metade inferior a 122,15 mNM e três quartos inferior a 143,75 mNM (Figura 2.111). Para os demais parâmetros para esse grupo – vazão de estabilização, específica e nível dinâmico, não foi feita estatística – contendo apenas um cadastro com os referidos parâmetros.

Os níveis estáticos e dinâmicos do Grupo 3 apresentam uma média de 25,36 m com 50% dos valores entre 4,00 m e 36,00 m, enquanto os níveis dinâmicos variam entre -14,00 mNM e 19,78 mNM. Já a profundidade média de é 83,97 m, com 50% dos valores entre 36,75 m e 114,00 m.

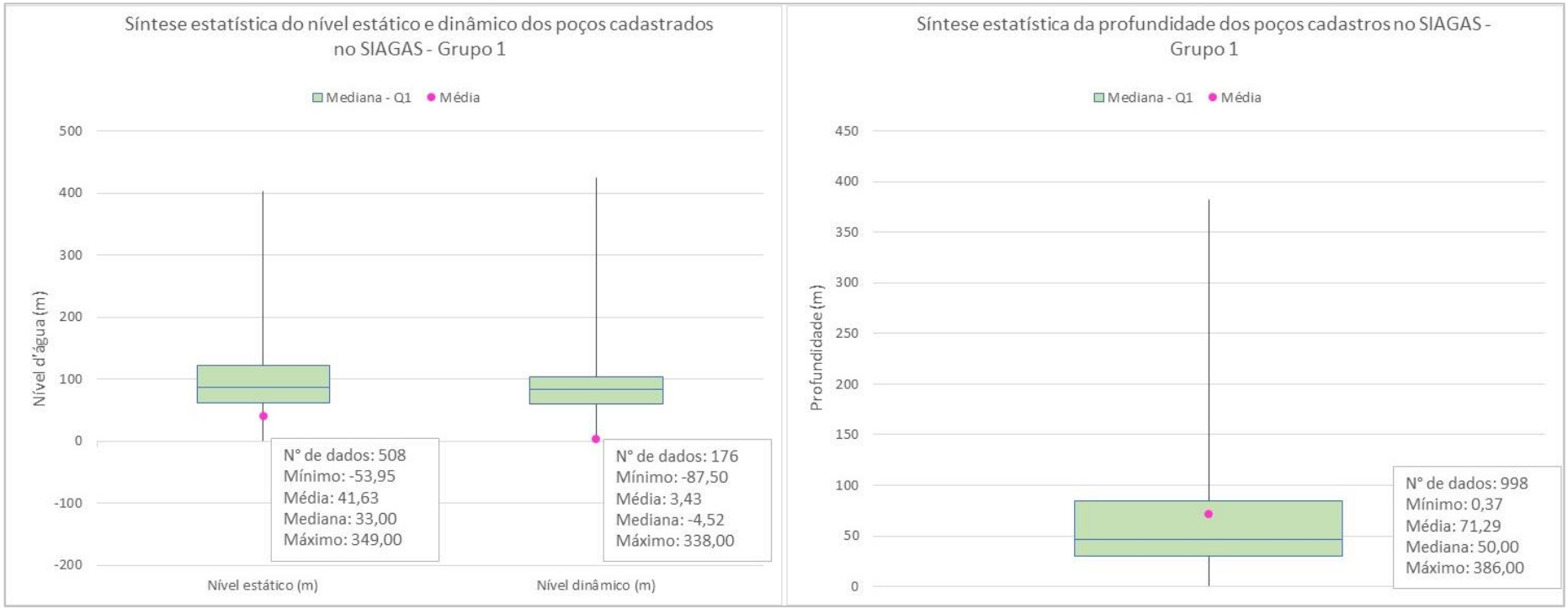


Figura 2.110 – Distribuição estatística do nível estático, nível dinâmico e profundidade dos poços cadastrados no SIAGAS – Grupo 1.

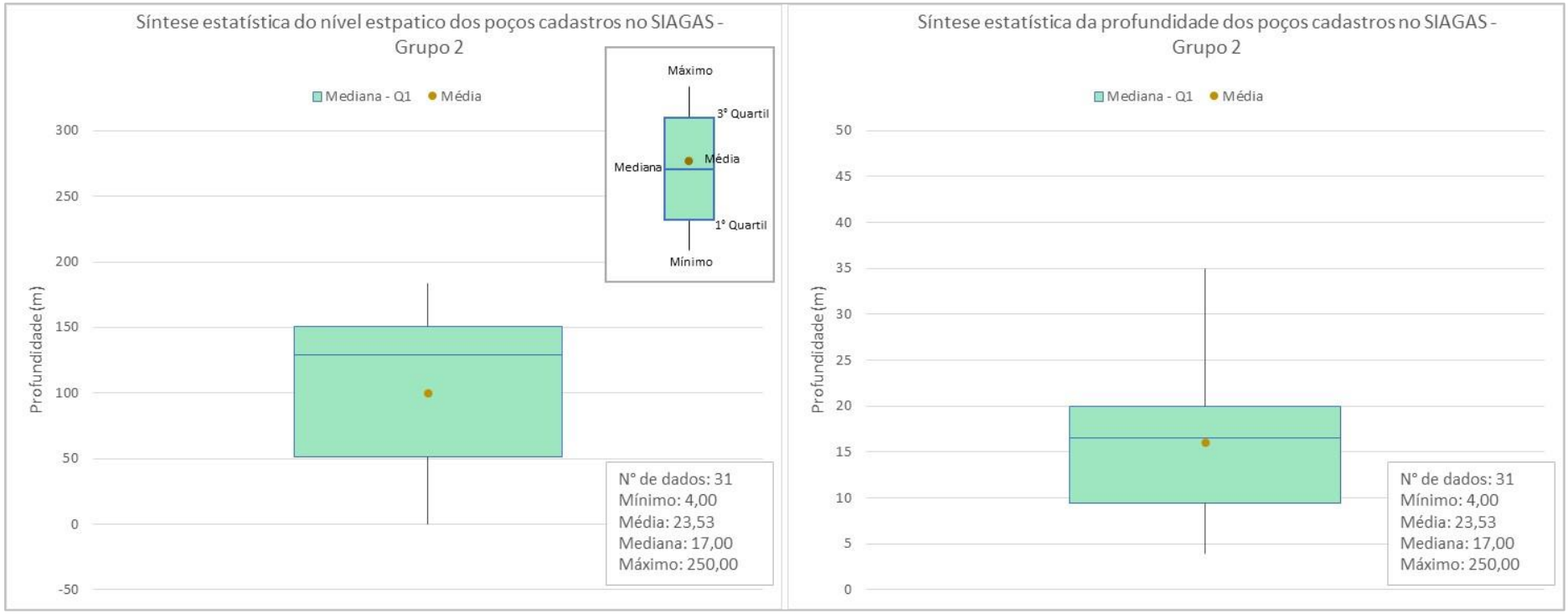


Figura 2.111 – Distribuição estatística do nível estático e profundidade dos poços cadastrados no SIAGAS – Grupo 2.

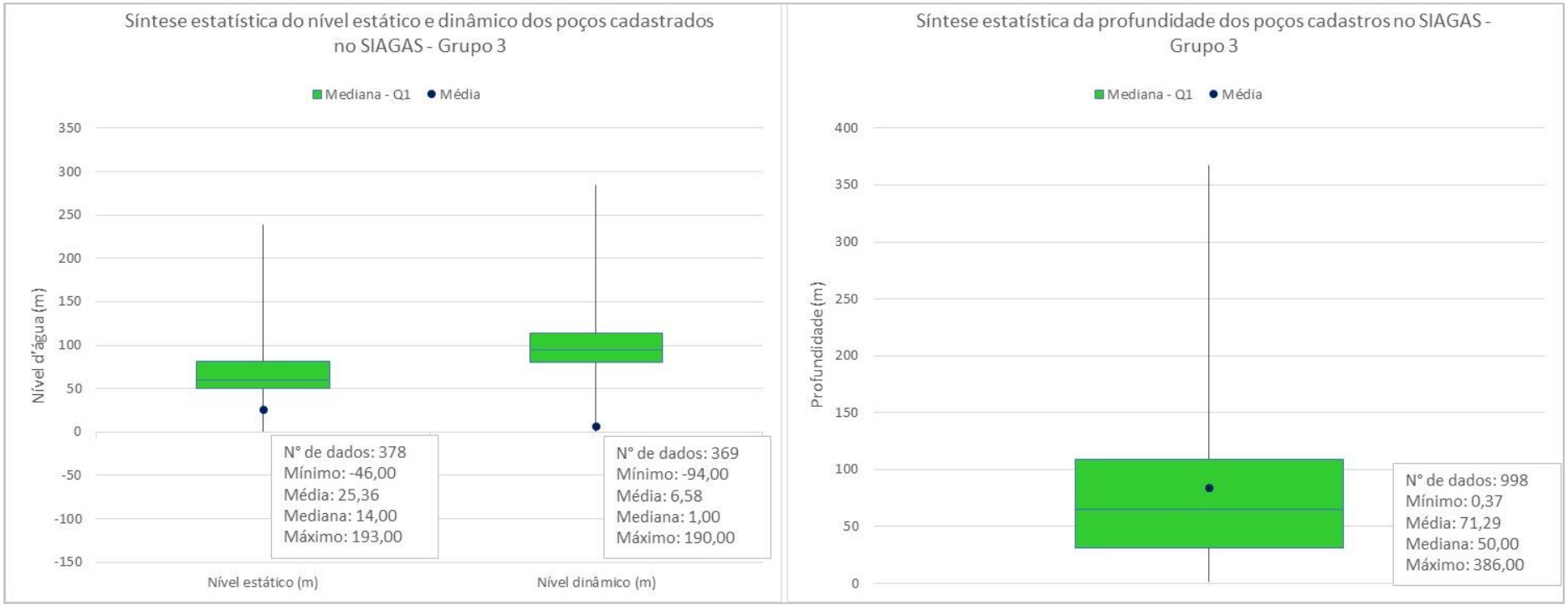


Figura 2.112 – Distribuição estatística de nível estático, nível dinâmico e profundidade dos poços cadastrados no SIAGAS – Grupo 3.

2.2.7.9 Concepção do SAPP

O SAPP envolve um conjunto de unidades hidroestratigráficas de características variadas, as quais, dependendo de configurações específicas podem dar origem a situações de confinamento parcial ou local. Estudos anteriores elaborados por diversos autores (p. ex. COSTA *et al.*, 2007; AESA, 2022) distinguem nesse reservatório subterrâneo um subsistema confinado com arranjo complexo “composto pelos arenitos quartzosos e/ou calcíferos da Formação Beberibe/Itamaracá, cuja unidade confinante superior é constituída ora pelas margas da Formação Gramame, ora pelos níveis argilosos inferiores do Grupo Barreiras, ora por lentes argilosas ou de folhelhos que ocorrem no topo da formação Beberibe (Formação Itamaracá), cuja unidade confinante inferior é formada pelo embasamento pré-cambriano” (COSTA *et al.*, 2007; AESA, 2022).

A partir dessa leitura e da interpretação de autores como Costa *et al.* (2007), ASUB (2009) e Abels *et al.* (2017) em estudos hidrogeológicos ao longo dos últimos 20 anos, ficou estabelecido o entendimento de que a região sob confinamento que dá origem ao subsistema confinado está presente no Bloco Estrutural João Pessoa - Pitimbu. Portanto, o subsistema confinado no SAPP engloba uma parte da formação Beberibe, mas não sua totalidade.

O modelo conceitual do funcionamento de uma seção do subsistema confinado está documentado em estudos anteriores, como Batista *et al.* (2010) e ASUB (2009). Esses estudos apresentam considerações sobre a ocorrência do fluxo no sistema aquífero como um todo e nos subsistemas livre e confinado. Sendo assim, o modelo hidrogeológico a ser utilizado neste estudo é o que vem servindo de base para estudos ao longo de mais de 20 anos de que o aquífero Beberibe/Itamaracá é confinado.

2.2.7.10 Caracterização qualitativa das águas

Com o objetivo de consolidar e digitalizar informações hidroquímicas provenientes de múltiplas fontes, como projetos, órgãos governamentais, teses, dissertações e artigos, as informações levantadas e obtidas foram integradas ao BD Poços. Os dados hidroquímicos integrados ao BD Poços são provenientes do SISÁGUA, SIAGAS, CAGEPA, UFPB, o trabalho de Costa *et al.* (2007) e CDRM.

Para cada conjunto de dados coletados, antes destes serem integrados ao BD Poços, houve uma padronização das unidades de medida e dos textos de acordo com os parâmetros específicos. Além disso, as coordenadas geográficas foram unificadas para um mesmo sistema de projeção e foram adotadas medidas para evitar duplicações de informações, compatibilizando os dados hidroquímicos aos poços já existentes no BD Poços, se fosse o caso.

Com o propósito de ilustrar as variações espaciais dos dados hidroquímicos por unidade aquífera, foram criados mapas representando os principais parâmetros analisados: salinidade, potabilidade e classificação iônica. Os dados coletados foram categorizados de acordo com critérios específicos e comparados com a base de dados do IBGE (2006), que mapeou as características hidroquímicas do estado da Paraíba na escala 1:250.000.

Para possibilitar a classificação iônica e a avaliação da salinidade, foram desenvolvidos os diagramas de Piper e USSL (*United States Salinity Laboratory*), respectivamente. O diagrama de Piper oferece uma representação gráfica das proporções de diferentes íons presentes na água, permitindo uma análise visual das características iônicas. Por sua vez, o diagrama de USSL é empregado para avaliar os níveis de salinidade da água e sua adequação para diversos usos. Os gráficos e os mapas apresentados fornecem uma visualização da distribuição das propriedades hidroquímicas das águas subterrâneas do SAP.

2.2.7.10.1 Análise dos dados hidroquímicos do BD Poços

A partir da consolidação da base de dados, as águas foram caracterizadas do ponto de vista hidroquímico, considerando as variações composicionais nas diferentes unidades aquíferas, classificação iônica, avaliação da salinidade e análise de potabilidade.

No que diz respeito à classificação quanto ao conteúdo iônico e salinidade, um total de 101 poços foram classificados com base em análises químicas de diversas fontes, incluindo Costa *et al.* (2007), CDRM (MEDEIROS *et al.*, 2009), CAGEPA e UFPB. Dessas fontes, apenas Costa *et al.* (2007) e o estudo de Monitoramento das Águas no Litoral da Paraíba realizaram a classificação com base no tipo de aquífero. A Figura 2.113 exibe a distribuição espacial dos poços considerados por Costa *et al.* (2007),

agrupados por unidade aquífera monitorada. Para avaliar os aspectos físicos, os dados do SIAGAS da CPRM foram utilizados.

No contexto da adequabilidade para consumo humano, foram empregados dados de monitoramento do RIMAS, do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) do Ministério da Saúde (MS) e do Programa Água Doce, administrado pela Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente (BRASIL, 2010) do estado.

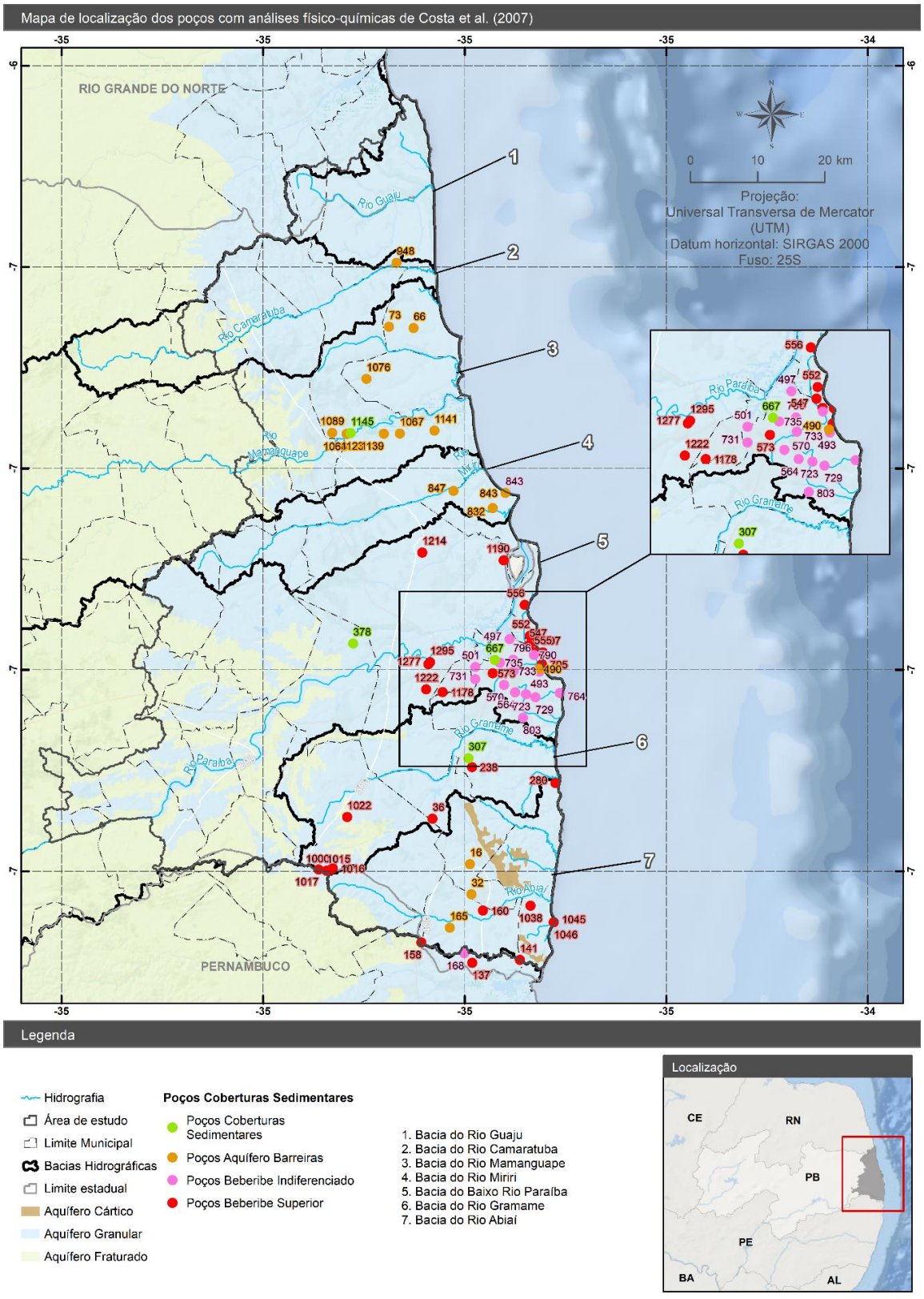


Figura 2.113 – Poços onde foram realizadas as coletas de água subterrânea para a caracterização hidroquímica.

2.2.7.10.2 Classificação iônica

As classes iônicas estão representadas graficamente na Figura 2.114 e espacialmente na Figura 2.115. A maior concentração de poços está situada na área urbana de João Pessoa. Os resultados das fácies hidroquímicas apontam que as águas na região, em sua maioria, são classificadas como bicarbonatadas mistas e cálcicas. Para a base de dados de Medeiros *et al.* (2009) não foi fornecida a diferenciação entre os aquíferos amostrados.

De forma mais geral, considerando o SAPP poroso, a classificação das águas baseada nos principais cátions e ânions resulta em predominância de águas bicarbonatadas mistas/cálcicas, seguidas por águas cloretadas mistas, cálcicas ou sódicas. Para cada unidade aquífera, a classificação iônica segue a relação abaixo:

- Aquífero Coberturas Sedimentares: predominam águas cloretadas cálcicas;
- Aquífero Barreiras: majoritariamente bicarbonatadas cálcicas e com presença de águas cloretadas sódicas;
- Aquífero Beberibe indiferenciado: predominam águas bicarbonatadas cálcicas, com a presença subordinada de águas mistas/sódicas e cloretadas mistas/sódicas;
- Aquífero Beberibe superior: as águas são principalmente bicarbonatadas mistas e bicarbonatadas cálcicas.

A interpretação do diagrama de Piper mostrou que para os aquíferos Beberibe e Beberibe indiferenciado, caracterizados por serem confinados ou semi confinados, observaram-se tendências lineares em direção ao vértice do bicarbonato, carbonato e cálcio. Essa inclinação pode ser indicativa da dissolução progressiva de cálcio e carbonato, possivelmente derivados da formação geológica sotoposta, como a formação Gramame. As baixas razões de magnésio para cálcio e as maiores concentrações de cálcio em relação ao sódio também sugerem a possibilidade de dissolução de carbonatos em detrimento de silicatos.

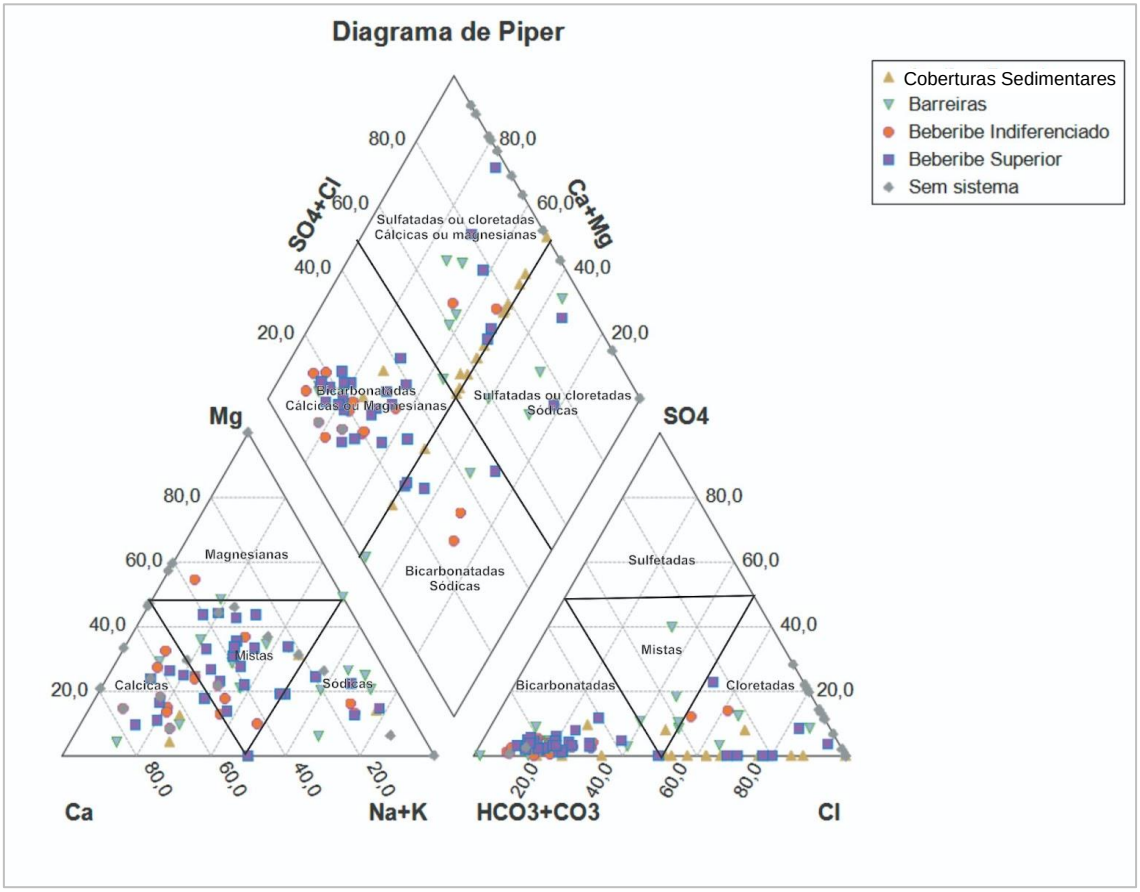


Figura 2.114 – Diagrama de Piper com a classificação iônica das análises químicas das bases de Costa *et al.* (2007), CDRM (MEDEIROS, 2007), CAGEPA e UFPB.

Para o Aquífero Coberturas Sedimentares, onde predominou a classificação de águas cloretadas, é provável que os solos estejam mais enriquecidos em íons cloreto, podendo até mesmo ser influenciados por intrusões salinas. A Figura 2.116 apresenta gráficos de *box plot* que ilustram a variação da condutividade elétrica em relação às unidades aquíferas identificadas nos resultados de análises obtidas do SIAGAS. Os gráficos revelam que o Aquífero Coberturas Sedimentares exibe condutividade elétrica significativamente menor em relação ao Aquífero Beberibe, chegando a valores tão baixos quanto 25 uS/cm. Por outro lado, a formação Beberibe apresenta valores de condutividade elétrica que variam até 500 uS/cm, com uma média em torno de 250 uS/cm, indicando uma maior concentração de íons em comparação com os aquíferos livres.

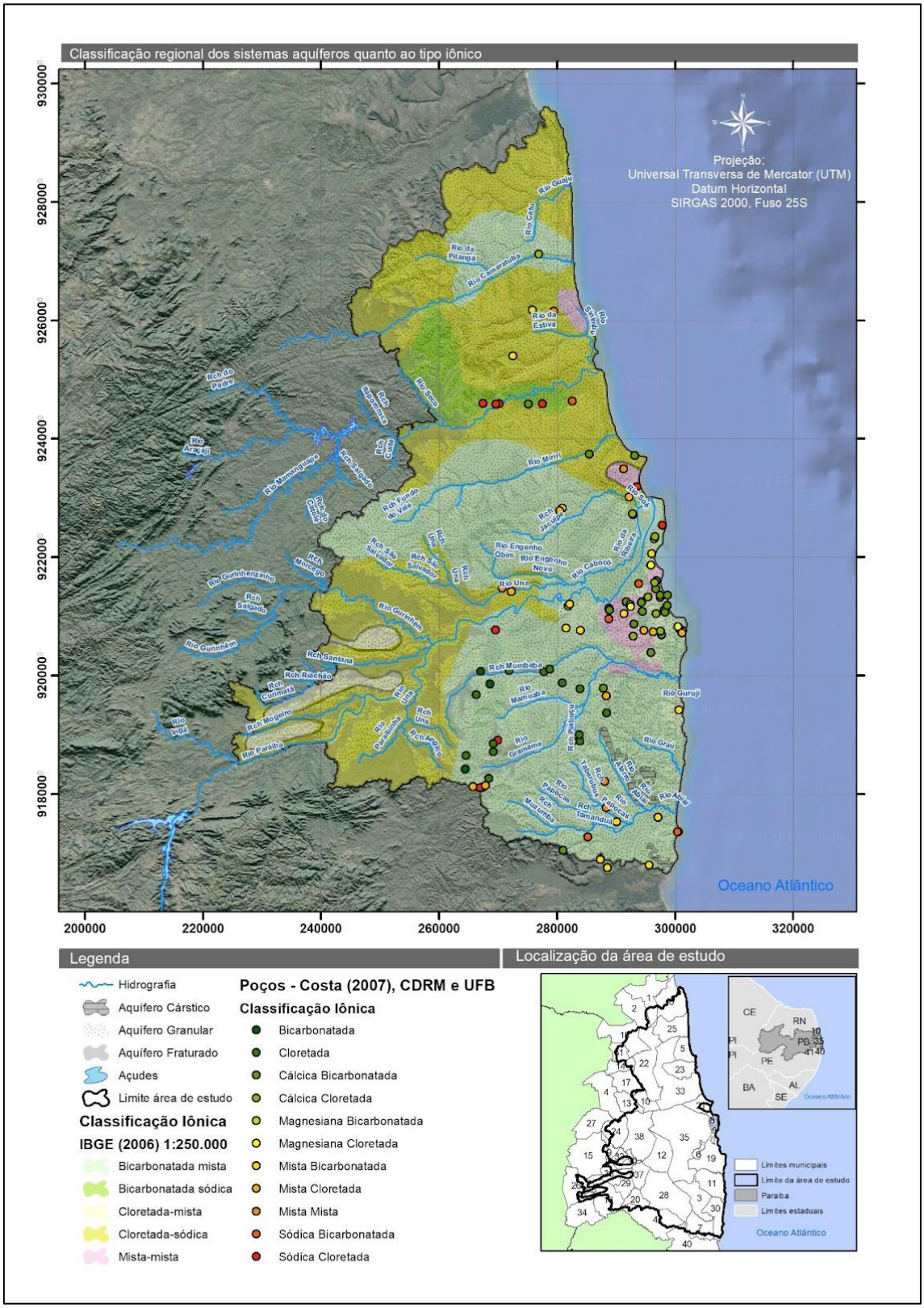


Figura 2.115 – Mapa com a classificação iônica dos pontos amostrados confrontados com a base do IBGE.

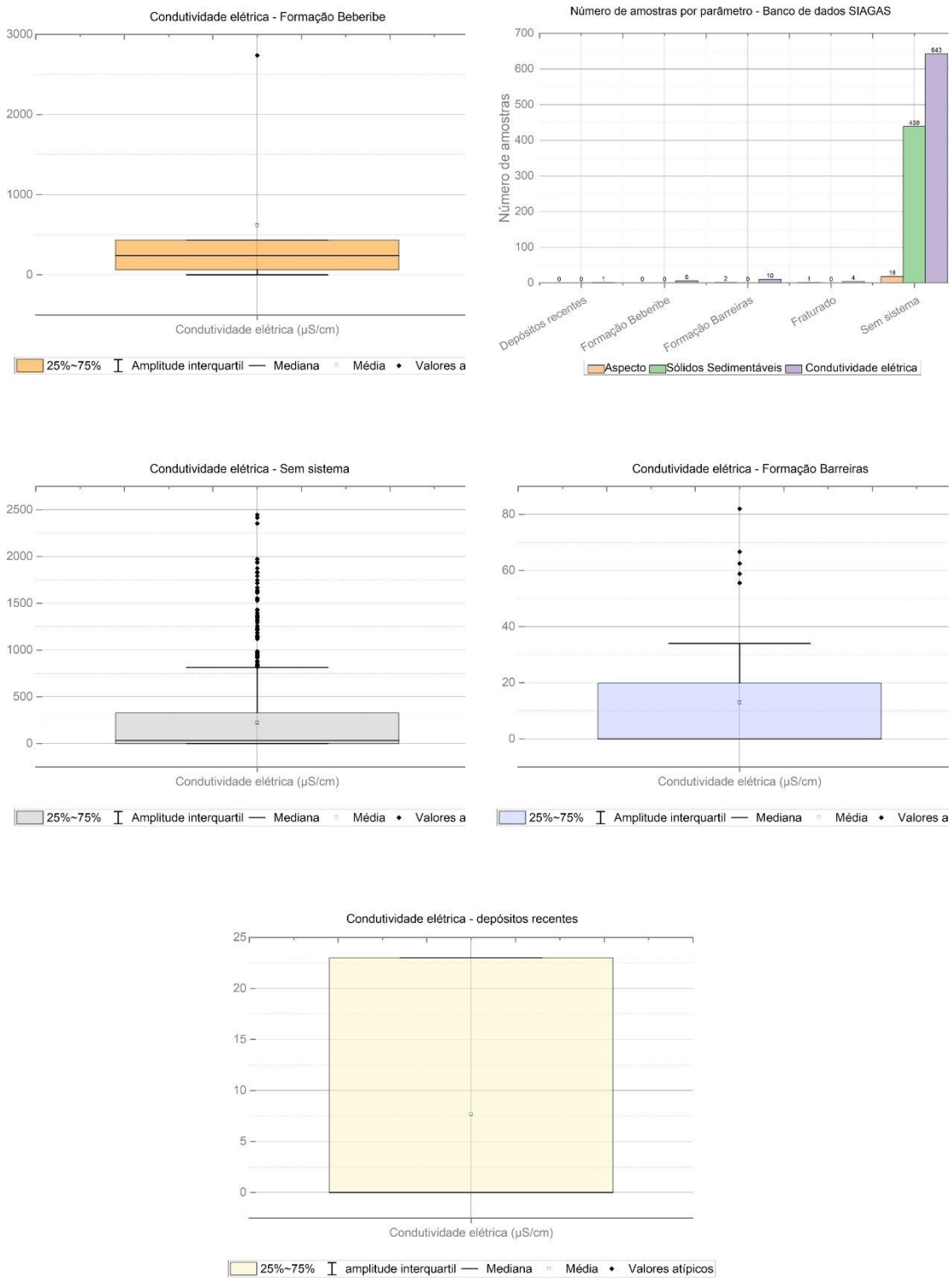


Figura 2.116 – Gráficos box-plot indicando a variação da condutividade elétrica ao longo das unidades aquíferas identificadas.

As relações frequentemente utilizadas para distinguir entre águas de origem continental ou marinha são: rMg/rCa, rK/rNa, rCl/rHCO3. Outras razões também empregadas incluem rCa/rMg, rCa/rSO4 e rNa/rC. As razões calculadas mostram que a razão rMg/rCa variam de 0,02 a 2,43, as razões rK/rNa variam de 0,02 a 0,99, as razões rCl/rHCO3 variam de 0,01 a 26,61 e as razões rCa/rSO4 variam de 0,13 a 50,10. Esses valores se enquadram nos intervalos correspondentes à classificação de água de origem continental. Existem apenas algumas exceções, como no caso do Aquífero Beberibe Superior, onde o poço 238 no assentamento Gurugi em Conde pode ter água de origem marinha ou contaminação subsequente, e o poço 1022 na localidade de Sítio Jangada no município de Pedras de Fogo, que possuía possível contaminação salina, possivelmente de paleomangues que infiltraram na porção superior (COSTA *et al.*, 2007).

2.2.7.10.3 Classificação quanto à salinidade

Para avaliar a adequação das águas para fins de irrigação, foram considerados o gráfico da Figura 2.117 , diagrama de salinidade da USSL, comumente empregado para avaliar essa característica e o mapa da Figura 2.118. A classificação das águas para uso agrícola é determinada pela concentração de íons como sódio, potássio, cloreto, sulfato, bicarbonato e boro.

A análise do gráfico da Figura 2.117 revela que, para o Aquífero Coberturas Sedimentares, 35% das amostras se enquadram na classe C1-S1, 29% são classificadas como C2-S2 e 29% como C2-S1. No caso do Aquífero Barreiras, a predominância é da classificação C1-S1. As águas provenientes dos Aquíferos Coberturas Sedimentares exibem baixa salinidade, com condutividades elétricas entre 100 e 250, sendo adequadas para a irrigação da maioria das culturas e solos, com baixo risco de salinização. Essas águas também possuem baixo conteúdo de sódio, podendo ser empregadas em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de acumulação de sódio prejudicial ao cultivo de uma ampla gama de vegetais.

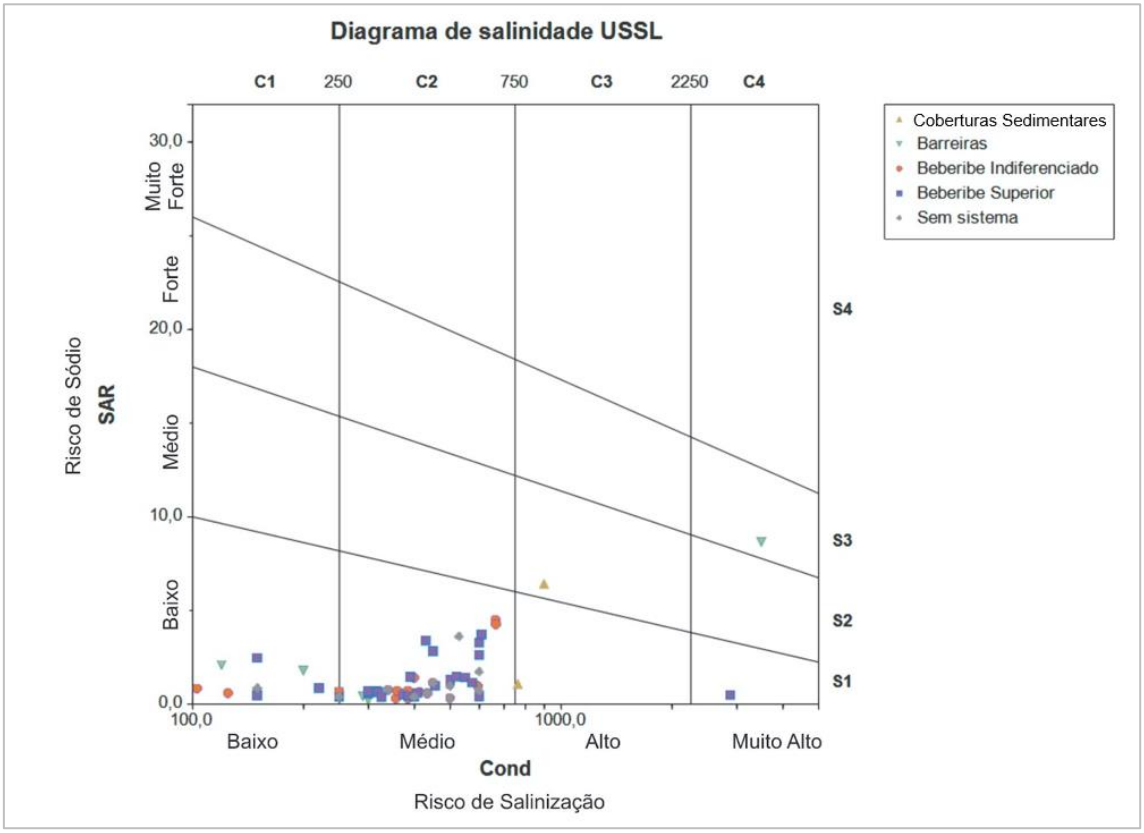


Figura 2.117 – Diagrama de salinidade indicando o risco de salinização e o risco de sódio para as unidades aquíferas estudadas.

Em contraste, para os aquíferos confinados, Aquífero Beberibe Superior e Indiferenciado, 75% das amostras se classificam como C2-S1, e 19% como C1-S1. As águas em que não foram classificadas quanto ao tipo de aquífero também predominantemente foram classificadas como C2-S1. Essas águas apresentam salinidade média, com condutividades elétricas entre 250 e 750, devendo ser usadas com precaução e preferencialmente em solos de textura siltosa, arenosa, siltosa ou argiloarenosa, quando há uma moderada ação do solo. As plantas com baixa tolerância à salinidade pode ser cultivadas em grande parte dos casos sem riscos. Similarmente aos aquíferos mais recentes, essas águas são fracamente sódicas, podendo ser utilizadas em uma variedade de solos e suportando o cultivo de diversos vegetais.

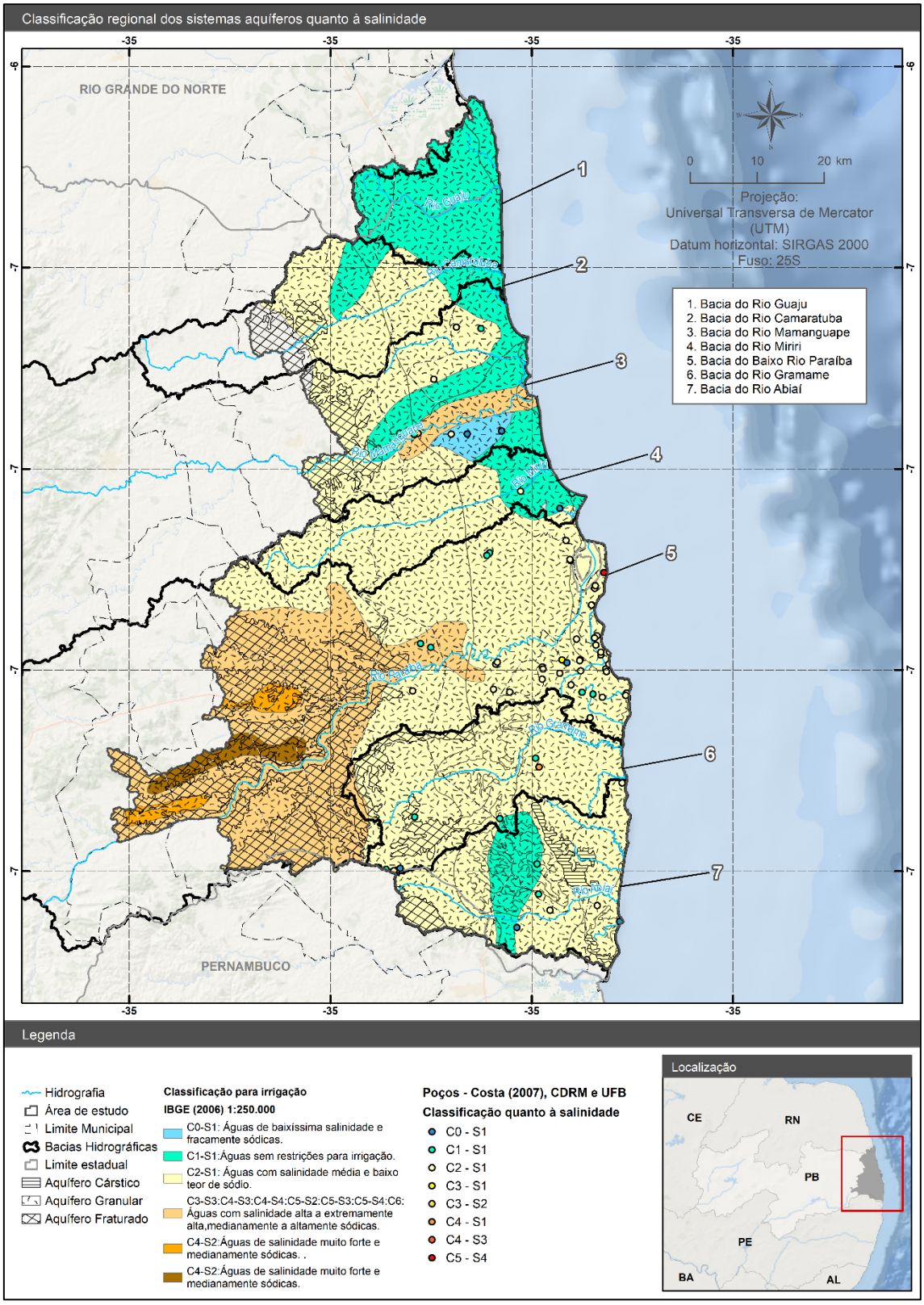


Figura 2.118 – Mapa com a classificação das águas quanto à salinidade confrontados com a base do IBGE.

Dentro do contexto do Programa Água Doce (2010), que aborda o suprimento de água subterrânea para usos domésticos e aplicações diversas, uma análise envolvendo um total de 24.847 poços no seminário brasileiro foi conduzida. Para a porção espacial referente ao SAPP, as salinidades das águas subterrâneas oscilam entre 0,001 mg/L a 5.000 mg/L, sendo classificadas predominantemente como fontes de água doce.

Em uma escala mais local, o estudo apresentado por Coutinho *et al.* (2013) destaca os valores de nitrato e índices de qualidade da água subterrânea em poços localizados na bacia hidrográfica do rio Gramame. O parâmetro nitrato demonstra concentrações próximas ou superiores ao limite máximo de 10 mg/L estabelecido pela Resolução 396/2008 do CONAMA em três poços amostrados. Ao relacionar os dados de espacialização do nitrato com o uso e ocupação do solo, observou-se que as maiores concentrações desse parâmetro ocorreram em poços próximos a aglomerados rurais e áreas utilizadas para atividades agrícolas intensivas que empregam fertilizantes.

Ainda se tratando de situações mais específicas, de acordo com o PERH-PB (AESA, 2022), também foram identificadas situações em que poços, ao captar o Aquífero Beberibe Inferior de composição quartzosa, indicaram evidências de alta salinidade (aproximadamente 1.000 mg/L, de acordo com perfis geofísicos). Esse cenário é peculiar e contradiz as características litológicas esperadas para esse aquífero.

2.2.7.10.4 Classificação quanto à potabilidade

O Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) consiste no conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública nas diferentes esferas de atuação para garantir à população o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade, estabelecido na legislação vigente (BRASIL, 2016). O programa utiliza o monitoramento para cumprimento da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano de 2016, que foi elaborada para atender ao disposto da Portaria de Potabilidade, a qual atribuía a Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (SVS/MS) a competência de estabelecer as diretrizes a serem implementadas pelas autoridades competentes dos estados.

A vigilância atua na prevenção de doenças e quaisquer riscos associados a má qualidade da água, avaliando todo o sistema que envolve desde a captação da água até o seu destino de consumo humano. Também assume caráter investigativo, atuando em emergências e pela atenuação de possíveis surtos de doenças que possam ser transmitidas pela água.

Basicamente, o monitoramento realizado pela vigilância da qualidade da água para consumo humano tem como objetivo:

- Avaliar a integridade do sistema de distribuição;
- Subsidiar a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade;
- Identificar pontos críticos/vulneráveis (fatores de risco) em sistemas e soluções alternativas de abastecimento;
- Verificar se as condições de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica interferem na qualidade da água bruta e/ou tratada;
- Verificar se o tratamento empregado é adequado às características da água do manancial de captação;
- Identificar grupos populacionais expostos a situações de risco.

Os estados e municípios devem implementar as diretrizes com um plano de amostragem de rotina, respeitando os princípios do Sistema Único de Saúde (SUS) e prioridades, objetivos metas e indicadores do VIGIAGUA, tendo que, obrigatoriamente, possuir corpo técnico capacitado para a avaliação dos resultados e tomada de decisão, visando a execução das medidas necessárias para cumpri-las.

O plano de amostragem de rotina deve envolver um plano básico de amostragem, definido no relatório, além do plano de monitoramento de agrotóxicos e, se necessário, um plano específico de monitoramento conforme características locais ou para eventos de massa, desastres ambientais e surtos ou epidemias.

O plano de amostragem básico possui um número mínimo de amostras mensais (Quadro 2.68) para os parâmetros de cloro residual livre (CRL), coliformes totais/Escherichia coli, turbidez e fluoreto de acordo com faixas populacionais. A escolha destes parâmetros foi com base em literaturas especializadas sobre indicadores de

qualidade microbiológica da água para consumo humano (ASHBOLT *et al.*, 2001; BASTOS *et al.*, 2000; NIEMINSKI *et al.*, 2000; US/EPA, 2006; WHO, 2011).

Quadro 2.68 – Número mínimo de amostras mensais no projeto VIGIAGUA.

Parâmetros	População (hab.)					
	0 a 5.000	5.001 a 10.000	10.001 a 50.000	50.001 a 200.000	200.001 a 500.000	Superior a 500.001
Cloro Residual Livre (CRL)	6	9	8 + (1 para cada 7,5 mil habitantes)	10 +(1 para cada 10 mil habitantes)	20 + (1 para cada 20 mil habitantes)	35 + (1 para cada 50 mil habitantes)
Turbidez						
Coliformes totais/ Escherichia coli						

O SISAGUA, instrumento do VIGIAGUA, contém um banco de dados de cumprimento das diretrizes do Plano Básico de amostragem contendo informações sobre CRL, turbidez e coliformes totais/E. coli, contendo o quantitativo de amostras previsto de acordo com a população de cada município e quantas amostras foram analisadas. Os dados obtidos do SISAGUA para os municípios da área de estudo estão contidos no BD Poços. É possível observar um aumento do número de amostras com o passar dos anos devido ao aumento da população nos municípios (Quadro 2.69).

Quadro 2.69 – Soma dos números previstos e analisados para as cidades da área de estudo.

	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
N°Previsto	5292	%	5316	%	5316	%	5316	%	5316	%	5328	%	5340	%
CRL(mg/l)	200	3.8%	515	9.7%	922	17.3%	1359	25.6%	1435	27.0%	2108	39.6%	2494	46.7%
Coliforme/E.coli	3297	62.3%	3778	71.1%	4019	75.6%	3760	70.7%	3411	64.2%	3900	73.2%	4113	77.0%
Turbidez (NTU)	3325	62.8%	4144	78.0%	4389	82.6%	3668	69.0%	3401	64.0%	4045	75.9%	4144	77.6%

A classificação espacial das águas quanto à potabilidade segundo a classificação do IBGE (2006) está representada na Figura 2.121. Adicionalmente, a representação gráfica das classificações dos poços quanto ao uso e à conformidade com a Portaria de Consolidação n°5/2017 do Ministério da Saúde pode ser visualizada na Figura 2.119 e na Figura 2.120. A análise dos gráficos permite inferir que, de maneira geral, a qualidade da água é superior no aquífero poroso em comparação ao aquífero fraturado, e as águas são predominantemente utilizadas para abastecimento público, seguidas de usos industriais e, por último, irrigação.

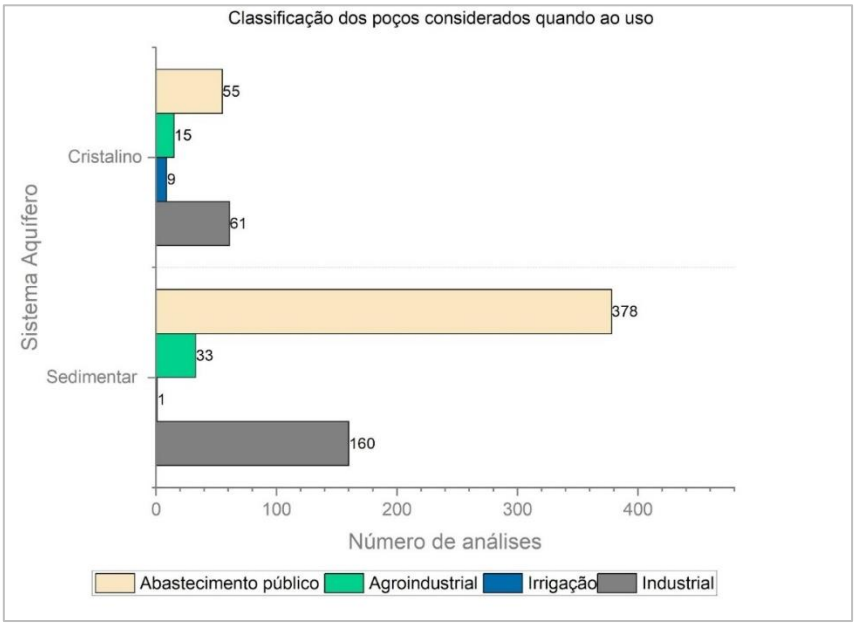


Figura 2.119 – Gráfico colunar com os diferentes usos dos poços analisados do ponto de vista hidroquímico do banco de dados do SISÁGUA.

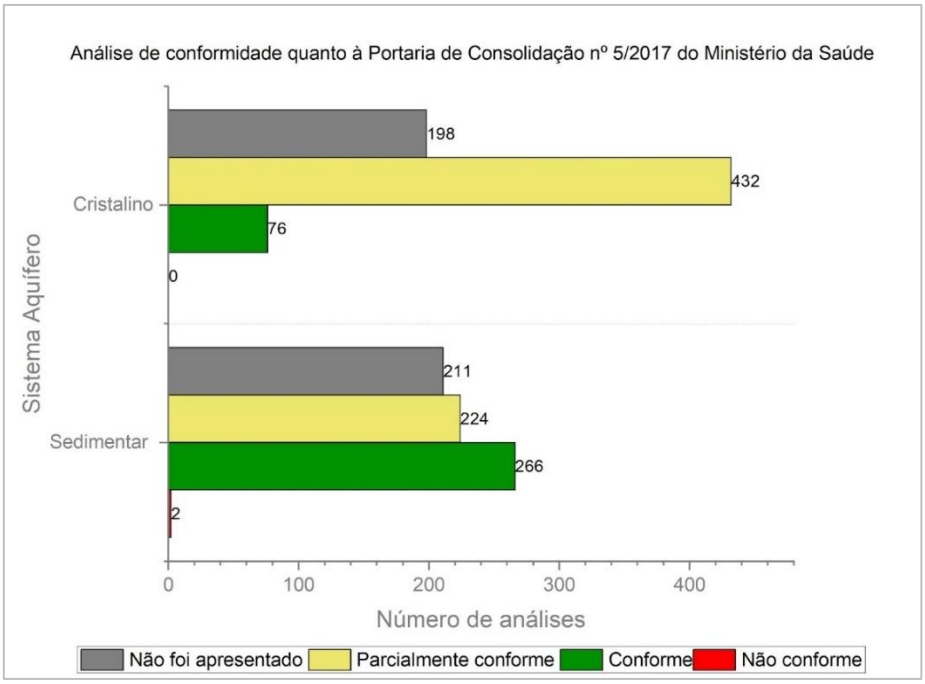


Figura 2.120 – Gráfico coluna indicando a quantidade de amostras conformes ou não quanto a portaria número 5 de 2017 do Ministério da saúde do banco de dados doces água por unidade aquífera.

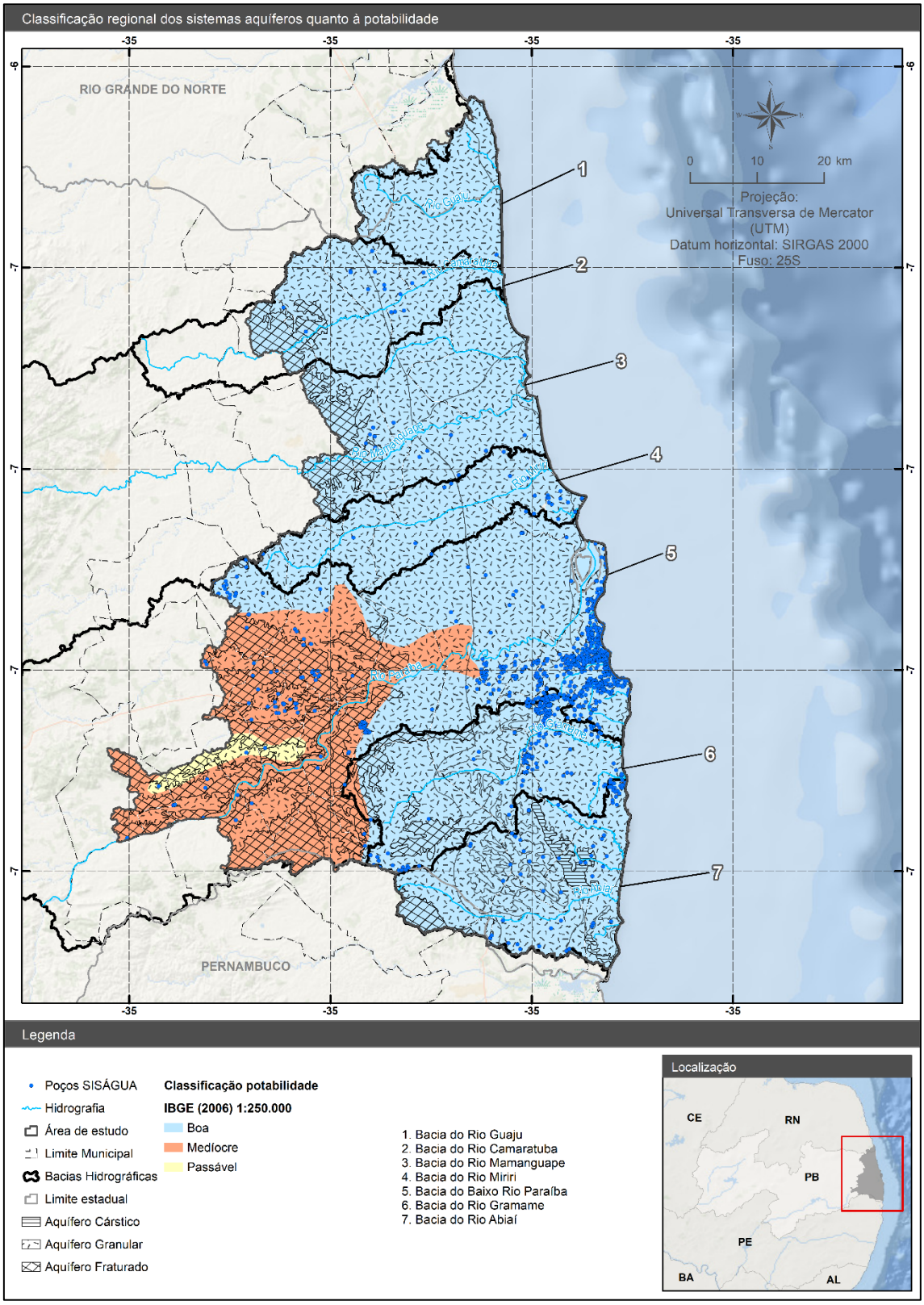


Figura 2.121 – Mapa com a localização dos postos doce água e a classificação quanto à potabilidade pelo IBGE.

De acordo com as informações obtidas do trabalho de Costa, as análises indicam que as águas são consideradas doces e atendem aos critérios de água potável estabelecidos pelo Ministério da Saúde (Portaria n° 518/2004). Em relação à salinidade, cerca de 97% das amostras foram classificadas como águas doces, enquanto somente duas amostras (3%) foram identificadas como águas salobras. No tocante à potabilidade da água, somente duas amostras apresentaram valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) acima de 1000 mg/L, e outras duas amostras tiveram teores de ferro superiores ao limite de 0,3 mg/L, como estabelecido pela Portaria n° 888/2004 do Ministério da Saúde (COSTA *et al.*, 2007).

Das informações obtidas de Medeiros, constatou-se que a maioria dos poços na região de Bancários em João Pessoa, que engloba o SAPP, foi avaliada como adequada para o consumo humano, sugerindo também a viabilidade de outros usos, como irrigação e aplicações industriais. Com relação a Albuquerque *et al.* (2011), apesar da quantidade limitada de análises químicas nas águas dos aquíferos explorados, as 11 medições de resíduo seco e condutividade elétrica sugerem que a qualidade dessas águas é satisfatória.

No que tange às informações obtidas do PERH-PB (AESA, 2022), é relevante observar que análises físico-químicas detalhadas não estão disponíveis em quantidade suficiente para uma caracterização completa das águas subterrâneas do SAPP. Entretanto, os registros de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) em 3.020 poços foram usados de maneira estatística para avaliar a adequação das águas para consumo. A análise do PERH-PB considerou parâmetros hidroclimatológicos e hidrogeológicos. Não foram identificadas restrições significativas em relação à qualidade das águas em todo o SAPP, exceto na região costeira, onde o aquífero explorado é o Beberibe/Itamaracá. Nesse sub-sistema inferior, há problemas de alta dureza da água, presença de odor e sabor indesejáveis, e concentração de ferro que excede o limite recomendado de 0,3 mg/L estabelecido pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde. A avaliação das características hidroquímicas das águas subterrâneas do Sistema Paraíba-Pernambuco na Paraíba (AESA, 2022 - RF-02-Diagnósticos/Volume 1) conclui que não há restrições significativas na qualidade das águas.

2.2.8 *DEMANDA E USO DA ÁGUA*

A análise das principais demandas hídricas da área do SAPP foi conduzida através de dados secundários, a partir das seguintes fontes de dados:

1. Uma base de dados consolidada a partir dos seguintes bancos de dados: Outorgas da AESA, SIAGAS, RIMAS, CAGEPA e um trabalho de Costa *et al.* (2007), denominada Banco de Dados de Poços (BD-Consolidado);
2. Usos Consuntivos de Água no Brasil (ANA, 2022), neste capítulo denominado de BD-Usos;
3. Atlas Irrigação (ANA, 2021b) para as demandas de agricultura irrigada; e
4. Atlas Águas (ANA, 2021a) para as demandas de abastecimento urbano.

A base BD-Consolidado constitui a fonte principal de informações, pois é baseada nos pedidos de outorga e cadastros de poço com informações de vazão captada, e informações da CAGEPA; os estudos da ANA são baseados em estimativas da demanda hídrica a partir de dados secundários e foram usados para consolidação e comparação das informações obtidas.

A Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água no Brasil foi lançada em 2019 com a publicação Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019b), consolidando e aprimorando as estimativas de usos setoriais e múltiplo da água, acompanhando a evolução da malha territorial de 1931 até atualmente, e realizando projeções até 2040. Assim surgiu a primeira versão da Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água (BD-Usos). Como uma forma eficaz de monitoramento indireto dos usos da água, a BD-Usos passa por atualizações periódicas para incorporar novos anos-diagnóstico, novos horizontes de projeção e aprimoramentos em métodos e bases de dados. A versão atual da BD-Usos atualiza o diagnóstico até 2021 e as projeções até 2040 (ANA, 2022). A BD-Usos consiste em demandas estimadas e consolidadas pela ANA, e é atualmente considerada a base de dados oficial de abrangência nacional no Brasil.

Para tipologias de uso específicas, também foram utilizados estudos setoriais da ANA: o Atlas Águas (ANA, 2021a) e o Atlas Irrigação (ANA, 2021b).O Atlas Águas foi elaborado a partir de informações dos representantes de prestadores de serviços de

água (estaduais, municipais e privados), que preencheram formulários de coleta, participaram de reuniões técnicas de trabalho e de validação das informações. O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), as Secretarias Estaduais e outros parceiros institucionais contribuíram com suas visões de planejamento da infraestrutura e com informações adicionais sobre investimentos e iniciativas recentes ou em andamento. Também foram consultadas bases de dados públicas, como as do IBGE, do SNIS e de Planos Municipais de Saneamento Básico, visando complementar o diagnóstico e o prognóstico da oferta de água, assim como o conjunto de ações previstas.

O levantamento detalhado de informações sobre os mananciais e sistemas de abastecimento foi realizado para todas as sedes urbanas dos 5.570 municípios brasileiros. A classificação dos mananciais e dos sistemas sintetiza a componente de eficiência da produção no Atlas Águas. Análises complementares foram realizadas para caracterizar a eficiência da distribuição.

O Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada é o resultado do empenho da ANA em fornecer uma nova base técnica, ampliada e atualizada, com informações relevantes sobre a agricultura irrigada brasileira na sua interface com os recursos hídricos, subsidiando tomadas de decisão com vistas ao desenvolvimento sustentável, à segurança hídrica e à garantia dos usos múltiplos da água.

O Atlas Irrigação foi elaborado entre 2018 e 2020 a partir de um planejamento de etapas e de estratégias de execução traçado em 2017, logo após o lançamento da primeira edição. As atividades foram executadas diretamente pela ANA ou em parceria com referências do setor agrícola, como: Conab, Embrapa, Agrosatélite, IBGE, UFPR, ESALQ/USP, USGS (Serviço Geológico Americano) e MDR. Outras publicações, que detalham algumas dessas atividades, foram lançadas previamente ao Atlas. Em 2021, o Atlas foi atualizado para sua segunda edição.

Cada base possui vantagens e desvantagens de serem utilizadas, com lacunas específicas relativas ao modo como foram elaboradas.

Os cadastros de usuários representam a realidade, uma vez que se trata de dados reais dos usuários, e contam com informações detalhadas e microlocalizadas da fonte de

água (superficial ou subterrânea), do usuário, da localização da captação e da tipologia de uso. No entanto, costumam não contemplar usos de pouca expressão (denominados usos insignificantes, que são dispensados de outorga). Outro problema comum com os cadastros são os usuários irregulares, que não solicitam outorga e nem se cadastram em outras bases de usuários.

Os cadastros também são autodeclaratórios, dependem de formulários preenchidos pelo próprio usuário, que pode superdimensionar ou subdimensionar sua demanda real por desconhecimento ou má-fé. Por exemplo, é comum usuários solicitarem outorgas maiores que o uso real para garantir uma reserva de água caso queiram expandir seus empreendimentos.

A BD-Usos consiste em uma base de dados muito robusta, com metodologia validada e aplicada de maneira uniforme em todo o território nacional, com consistência, validação e atualização de dados. Também consiste na base oficial utilizada pela ANA para avaliação da demanda hídrica e aferição dos balanços hídricos, além de possuir a vantagem de estar distribuída em uma boa escala, por ottobacias. Em que pese ser uma base de dados muito robusta, ainda assim trata-se de estimativas baseadas em dados secundários para estimar a demanda hídrica, e estimativas sempre estão sujeitas a erros, principalmente em pequenas áreas.

Ainda que a base esteja distribuída por ottobacia, não possui informações de localização de captação, por isso não gera informações microlocalizadas, e para análises em grandes escalas o erro tende a ser maior. Além disso, por se basear em métodos indiretos, a base não possui informações detalhadas do usuário, nem tipologias específicas de uso.

Os estudos setoriais utilizam metodologias específicas para o setor estudado, e tendem a gerar dados mais confiáveis para aquele setor. O Atlas Águas, por exemplo, consolidou dados de saneamento diretamente com as prestadoras de serviço e municípios individualmente, obtendo um bom nível de robustez e consolidação. O Atlas de Irrigação fez levantamento de todas as áreas irrigadas do país, com análises específicas dos tipos de cultivo e demanda hídrica de cada cultivo, geograficamente, e ao longo do ano, considerando a variabilidade climática e pluviométrica.

No entanto, estes estudos setoriais têm a limitação de fornecer informação sobre um setor específico, e não geram informações de demandas hídricas totais para uma área, e ainda assim são estimativas, sujeitas ao erro causado pelas aproximações e premissas.

Os subitens a seguir, apresentam a análise desenvolvida a partir das bases de dados mencionadas. Os resultados são apresentados por finalidade de uso da água, quando possível são apresentadas as demandas separadas por origem superficial e subterrânea. Além disso a informação é especializada por município e bacias hidrográficas.

2.2.8.1 Abastecimento público

As demandas para abastecimento público foram analisadas a partir de três fontes de dados:

- BD-Consolidado;
- BD-Usos;
- Atlas Águas.

O Atlas Águas é atualmente a base de dados de nível nacional mais completa sobre abastecimento urbano, tendo sido elaborada a partir de uma análise e consistência individualizada para cada município e prestador de serviço de saneamento. A base dos Usos Consuntivos de Água no Brasil estima os valores de retirada a partir de dois indicadores: o uso per capita (água que potencialmente chega aos usuários) e as perdas nas redes de distribuição (água perdida entre a captação e o usuário final).

Para preenchimento dos dados de uso per capita e/ou perda média dos municípios que não informaram dados ao SNIS ou não atenderam aos critérios de consistência, foi elaborada uma tabela de referência com base nos municípios com dados da UF e faixas populacionais (Quadro 2.70).

Quadro 2.70 – Tabela de referência para perdas nos municípios no estado da Paraíba.

Faixa populacional do município (mil habitantes)	≤5	>5 e ≤35	>35 e ≤75	>75
Perdas (%)	37%	36%	39%	50%

Fonte: ANA (2019b)

A estimativa das demandas potenciais considera a população, urbana ou rural, multiplicada por um coeficiente per capita, ajustada aos índices de perdas físicas na rede de distribuição, quando houver, e as vazões efetivamente captadas nos cursos hídricos pelos sistemas públicos de abastecimento.

O Atlas Águas apresenta as informações espacializadas por município, a BD-Usos por ottobacia, e o BD-Consolidado apresenta as coordenadas das captações. No Quadro 2.71, na Figura 2.122 e Figura 2.123 estão apresentadas as demandas para abastecimento público, por município, das três bases de dados analisadas.

Quadro 2.71 – Demandas em m³/s para abastecimento público por município.

Município	BD-Consolidado				BD-Usos	Atlas Águas
	Açude	Rio	Poço tubular	Total		
Alhandra		0,543	0,018	0,561	0,017	0,035
Baía da Traição					0,011	0,006
Baía Formosa					0,023	0,025
Bayeux			0,046	0,046	0,108	0,354
Caaporã	0,583		0,002	0,586	0,043	0,066
Cabedelo		0,001	0,038	0,039	0,168	0,246
Caldas Brandão					0,000	0,005
Canguaretama					0,010	0,000
Capim					0,021	0,018
Conde	2,45	0,5	0,042	2,992	0,091	0,053
Cruz do Espírito Santo		0,0216	0,000	0,022	0,018	0,023
Cuité de Mamanguape					0,010	0,008
Curral de Cima					0,000	0,002
Gurinhém					0,000	0,000
Itabaiana					0,047	0,063
Itambé					0,013	0,123
Itapororoca					0,000	0,000
Jacaraú		0,018	0,000	0,018	0,002	0,019
João Pessoa	0,167		0,503	0,670	2,828	2,234
					0,061	0,027
Lucena			0,008	0,008	0,103	0,069
Mamanguape	0,056243333		0,003	0,060	0,065	0,076
Marcação					0,005	0,011
Mari					0,025	0,000
Mataraca					0,024	0,011
Mogeiro					0,000	0,000
Pedras de Fogo		0,039	0,006	0,045	0,101	0,051
Pedro Régis					0,002	0,000
Pilar					0,012	0,016
Pitimbu			0,015	0,015	0,031	0,039

Município	BD-Consolidado				BD-Usos	Atlas Águas
	Açude	Rio	Poço tubular	Total		
Riachão do Poço					0,004	0,004
Rio Tinto		0,046	0,000	0,046	0,041	0,029
Salgado de São Félix					0,008	0,014
Santa Rita		0,356	0,073	0,429	0,347	0,242
São José dos Ramos					0,007	0,008
São Miguel de Taipu			0,003	0,003	0,012	0,011
Sapé	0,173		0,000	0,173	0,057	0,061
Sobrado					0,004	0,003
Total	**3,430**	**1,524**	**0,759**	**5,713**	**4,315**	**3,951**

Fonte: ANA (2021a, 2022), AESA (2022).

As informações do BD-Consolidado consideram os cadastros de demanda para abastecimento público, com a localização dada pelo local da captação, e consequentemente no município onde se localiza a captação. Nesse sentido, o cadastro difere das informações das demandas estimadas, que quantificam a demanda a partir da população, e por isso a demanda é localizada no município da população de origem, não necessariamente no município onde se encontra a captação. Neste contexto, a demanda cadastrada do município de Conde é tão alta comparado com as estimativas do Atlas e da BD-Usos, porque a principal captação do município de João Pessoa se encontra no rio Gramame, localizado no município de Conde por exemplo. Em João Pessoa há outra captação com um conjunto de poços, estes identificados nas demandas do BD-Consolidado.

Na Figura 2.123 estão apresentadas as demandas cadastradas no BD-Consolidado, onde podem ser identificadas as demandas superficiais e subterrâneas. O município de Conde onde se encontra a captação de João Pessoa possui praticamente a totalidade das demandas superficiais.

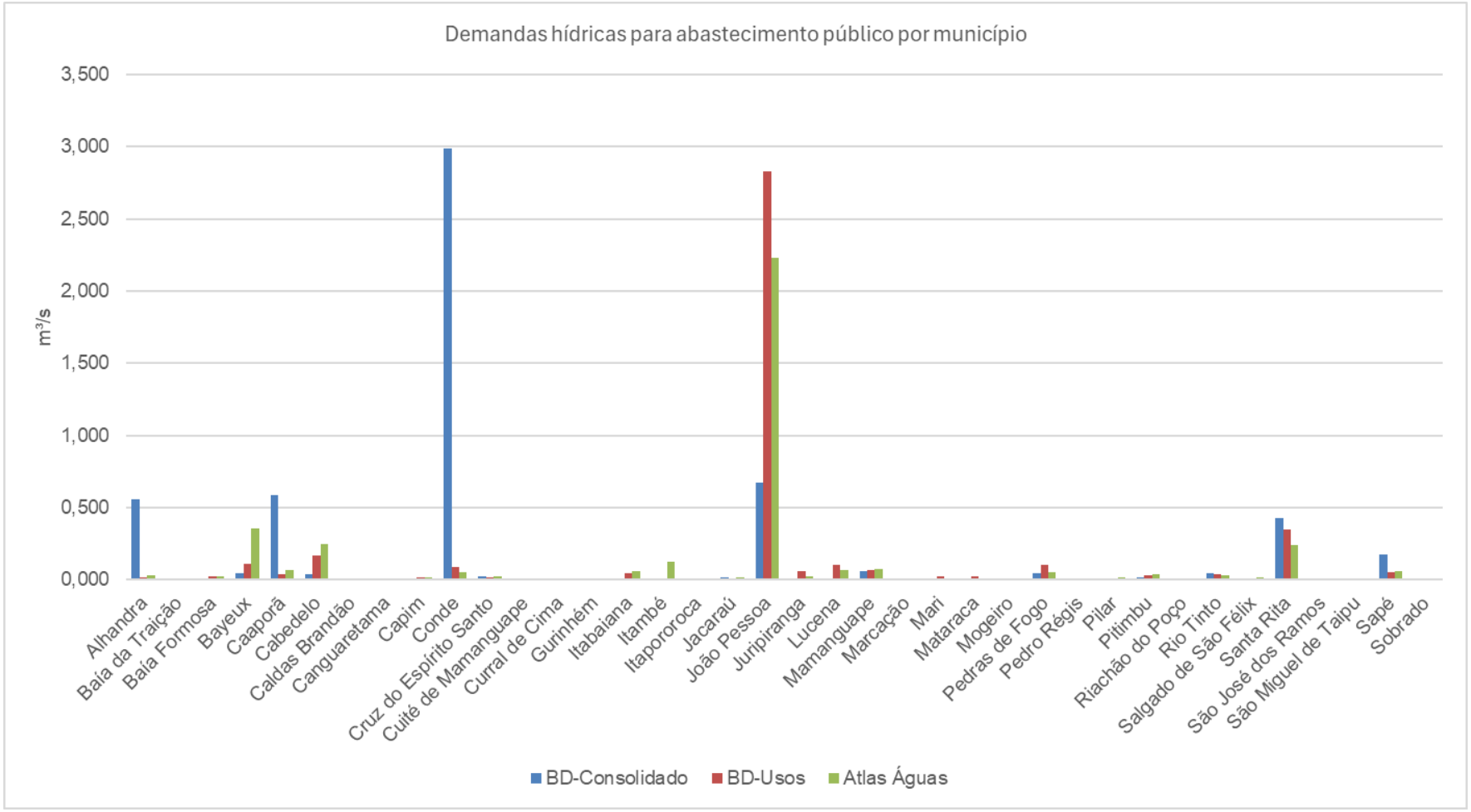


Figura 2.122 – Demandas para abastecimento público por município.

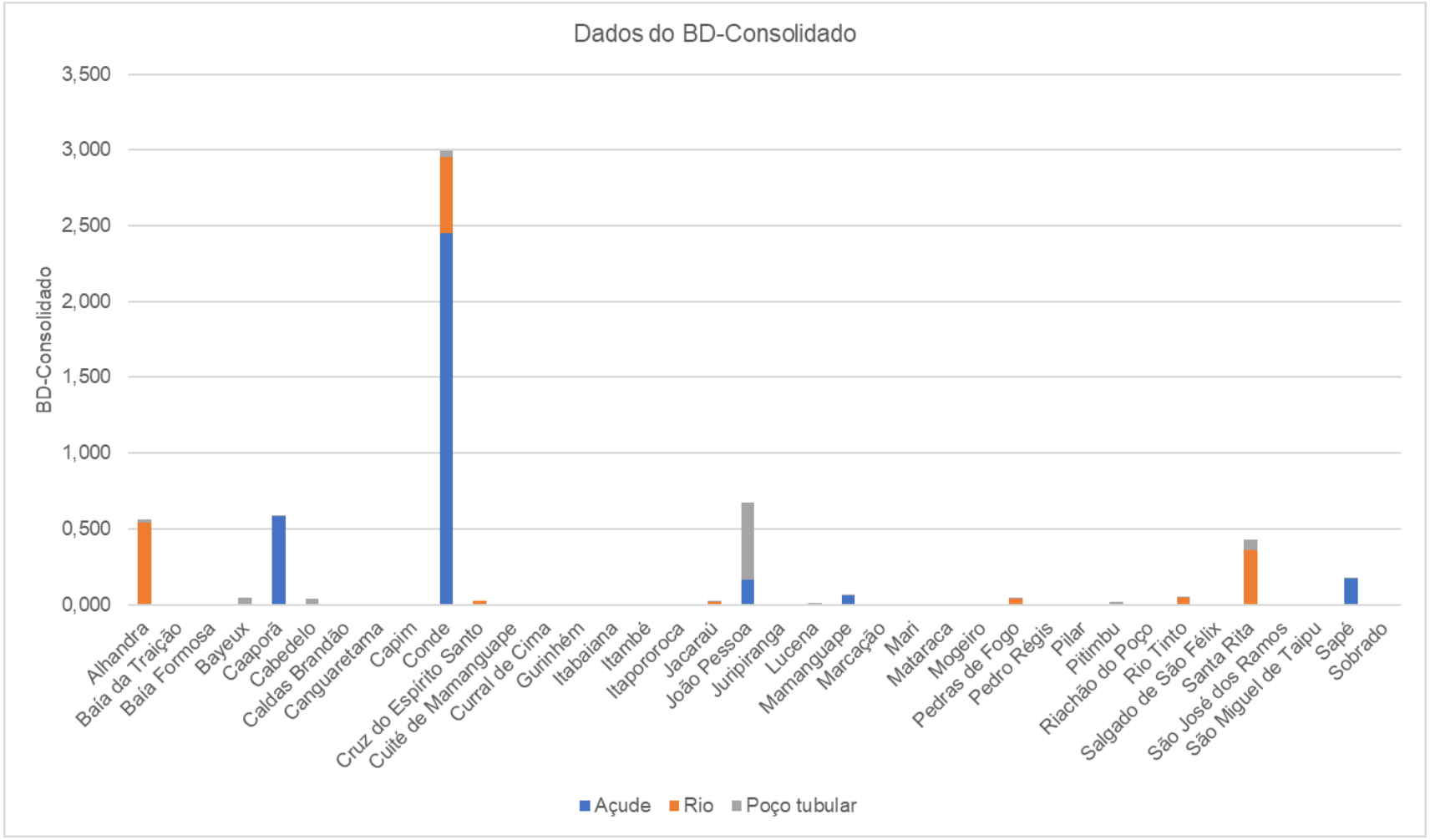


Figura 2.123 – Demandas para abastecimento público por município do BD-Consolidado.

No Quadro 2.72, Figura 2.129 e Figura 2.130 estão apresentadas as informações por bacia hidrográfica.

Quadro 2.72 – Demandas em m³/s para abastecimento público por bacia hidrográfica.

Bacia hidrográfica	BD-Consolidado				BD-Usos
	Açude	Rio	Poço tubular	Total	
Abiaí	0,583	0,543	0,048	1,175	0,171
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,340	0,379	0,633	1,351	3,036
Camaratuba		0,018	0,000	0,018	0,044
Gramame	2,450	0,539	0,066	3,055	0,847
Guaju					0,043
Mamanguape	0,056	0,046	0,004	0,106	0,098
Miriri			0,008	0,008	0,076
Total	**3,430**	**1,524**	**0,759**	**5,713**	**4,315**

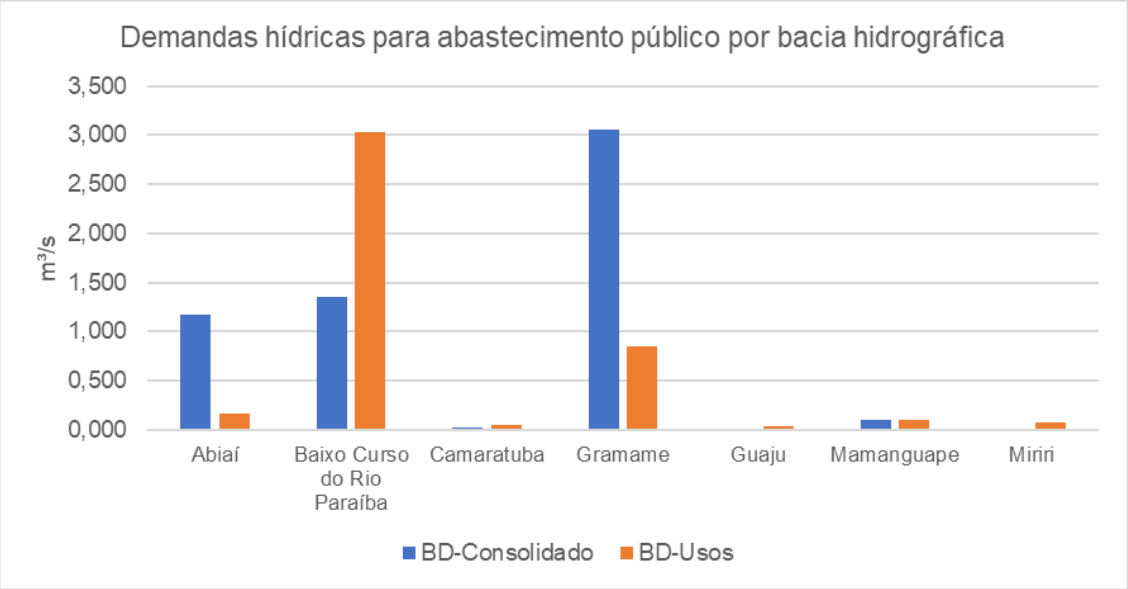


Figura 2.124 – Demandas para abastecimento público por bacia hidrográfica.

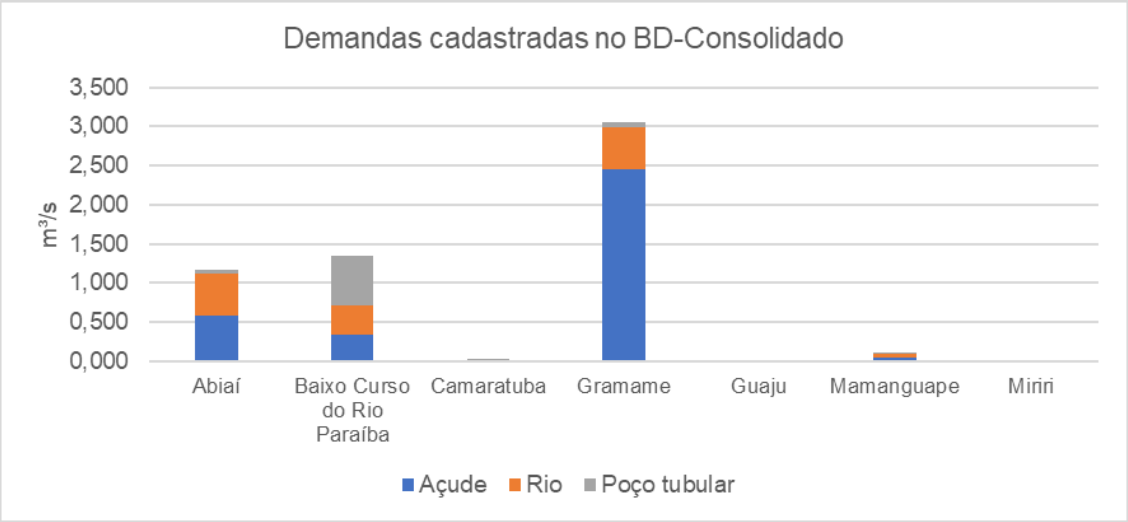


Figura 2.125 – Demandas para abastecimento público por bacia hidrográfica do BD-Consolidado.

No mapa da Figura 2.126 estão apresentadas as demandas para abastecimento público espacializadas com base no BD-Consolidado. As demandas se concentram na região de João Pessoa e municípios adjacentes. Embora o número de pontos de captação subterrâneos seja muito maior, a demanda total superficial (4,954 m³/s) é consideravelmente maior que a subterrânea (0,759 m³/s).

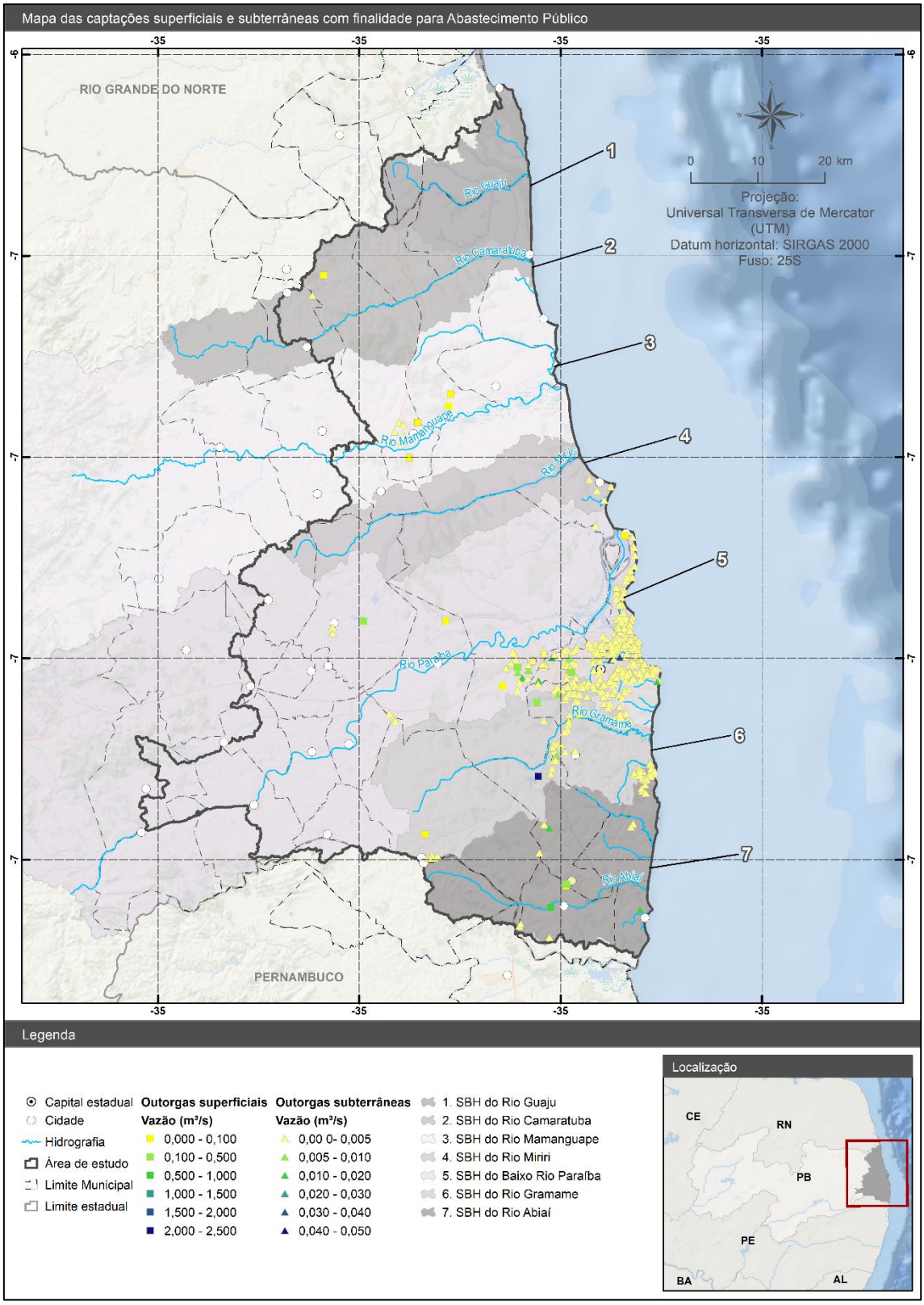


Figura 2.126 – Mapa da localização das demandas para abastecimento público do BD-Consolidado.

2.2.8.2 Consumo humano

A demanda para população rural utilizou como fontes de dados o BD-Consolidado e a BD-Usos. Para estimativa da demanda da população rural a ANA utilizou coeficientes de retirada que variam de 87 a 112 litros por habitante por dia (Quadro 2.73).

As populações utilizadas são dos levantamentos censitários, contagens e estimativas da população divulgadas pelo IBGE. No que tange à quantificação das populações municipais consideradas no cálculo da demanda de abastecimento humano por água, as informações para o período analisado são oriundas das estimativas da população divulgadas pelo IBGE.

Quadro 2.73 – Valores de per capita utilizados para as estimativas de demanda da população rural.

Faixa populacional (1.000 habitantes)	<5	>5 e <35	>35 e <75	>75
Uso médio per capita (L/hab.dia)	165	134	143	88

Fonte: ANA (2019b)

Para esta estimativa das demandas hídricas, o consumo humano é considerado como todo aquele não proveniente do abastecimento público urbano. Inclui imóveis e empreendimento com captações próprias, além do abastecimento humano rural.

A demanda para consumo humano normalmente vem de pequenas propriedades rurais, que não necessitam de outorga, por isso, tendem a ser consideravelmente maiores nas estimativas (que são baseadas na população rural total) do que no cadastro, visto que os usos geralmente são inexpressivos e não são cadastrados. No Quadro 2.74, na Figura 2.129 e Figura 2.130 estão apresentadas as demandas para consumo humano.

Quadro 2.74 – Demandas em m³/s para consumo humano por município.

Município	BD-Consolidado				BD-Usos
	Açude	Rio	Poço	Total	
Alhandra		0,0005	0,002	0,003	0,009
Baía da Traição					0,010
Baía Formosa					0,002
Bayeux					0,001
Caaporã			0,003	0,003	0,002
Cabedelo			0,0002	0,0002	0,0002
Caldas Brandão					0,002
Canguaretama					0,002
Capim	0,0002			0,0002	0,004
Conde			0,003	0,003	0,013

Município	BD-Consolidado				BD-Usos
	Açude	Rio	Poço	Total	
Cruz do Espírito Santo			0,013	0,013	0,011
Cuité de Mamanguape					0,002
Curral de Cima					0,002
Gurinhém			0,000	0,000	0,000
Itabaiana			0,001	0,001	0,004
Itambé					0,001
Itapororoca					0,000
Jacaraú					0,004
João Pessoa			0,001	0,001	0,006
Juripiranga					0,002
Lucena					0,003
Mamanguape		0,0017	0,002	0,003	0,012
Marcação					0,004
Mari	0,0005		0,001	0,001	0,007
Mataraca			0,001	0,001	0,004
Mogeiro		0,0001	0,0002	0,000	0,001
Pedras de Fogo		0,0074	0,006	0,013	0,016
Pedro Régis					0,003
Pilar			0,0004	0,0004	0,003
Pitimbu			0,002	0,002	0,009
Riachão do Poço			0,003	0,003	0,003
Rio Tinto			0,002	0,002	0,020
Salgado de São Félix					0,001
Santa Rita	0,0012		0,005	0,006	0,028
São José dos Ramos			0,001	0,001	0,003
São Miguel de Taipu			0,006	0,006	0,006
Sapé			0,001	0,001	0,016
Sobrado			0,001	0,001	0,006
Total	**0,002**	**0,010**	**0,055**	**0,067**	**0,223**

Em relação aos dados cadastrados, a maior parte da demanda para consumo humano vem de água subterrânea, feita em poços com pequenas vazões captadas nas propriedades rurais. Como mencionado, na Figura 2.127 pode ser observada a diferença nas bases de dados consideradas.

A demanda é consistentemente maior nas estimativas da BD-Usos em praticamente todos os municípios. Já na Figura 2.128 estão apresentadas as demandas por município cadastradas no BD-Consolidado, onde podem ser identificadas as parcelas de água superficial e subterrânea.

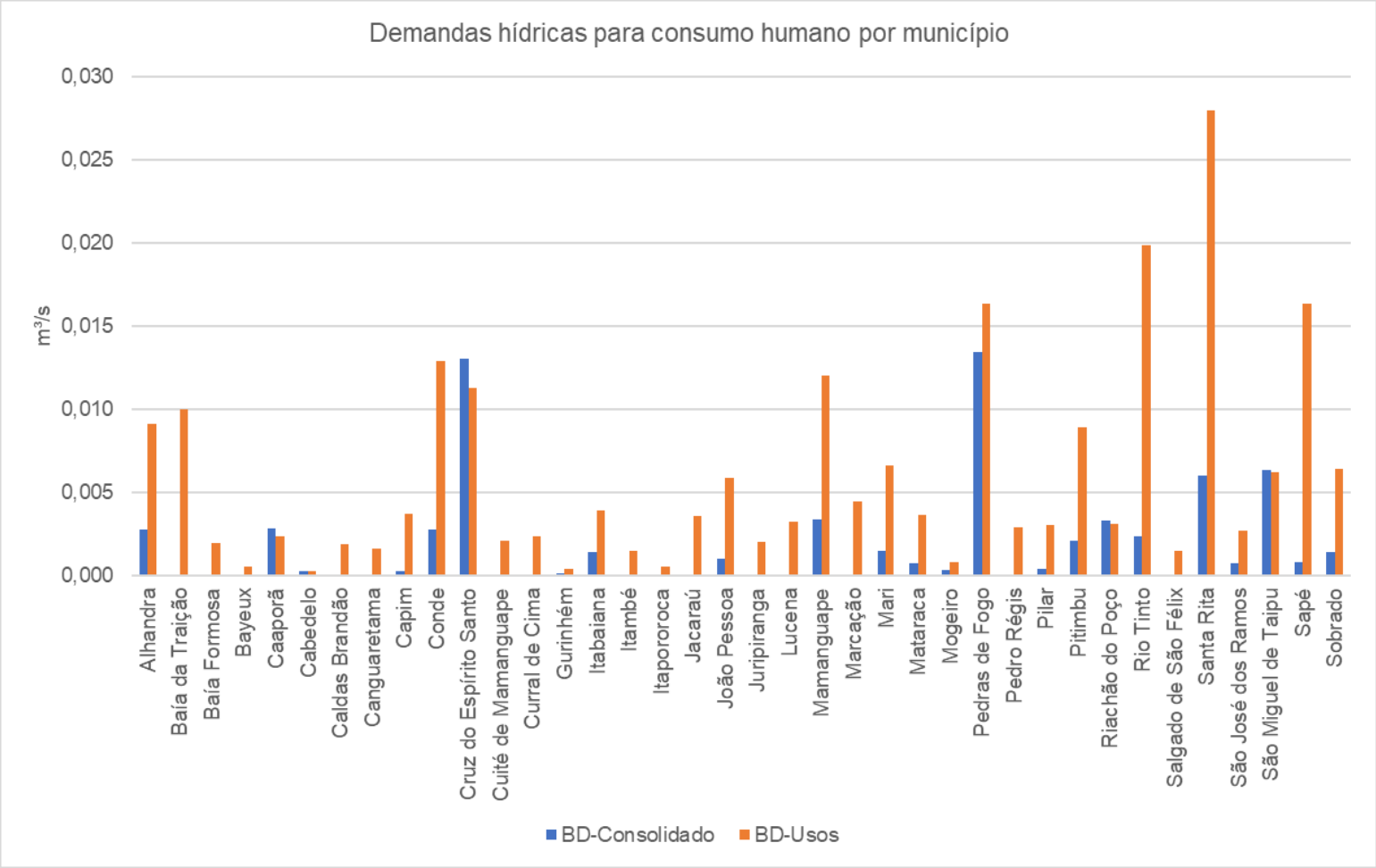


Figura 2.127 – Demandas para consumo humano por município nas diferentes bases de dados.

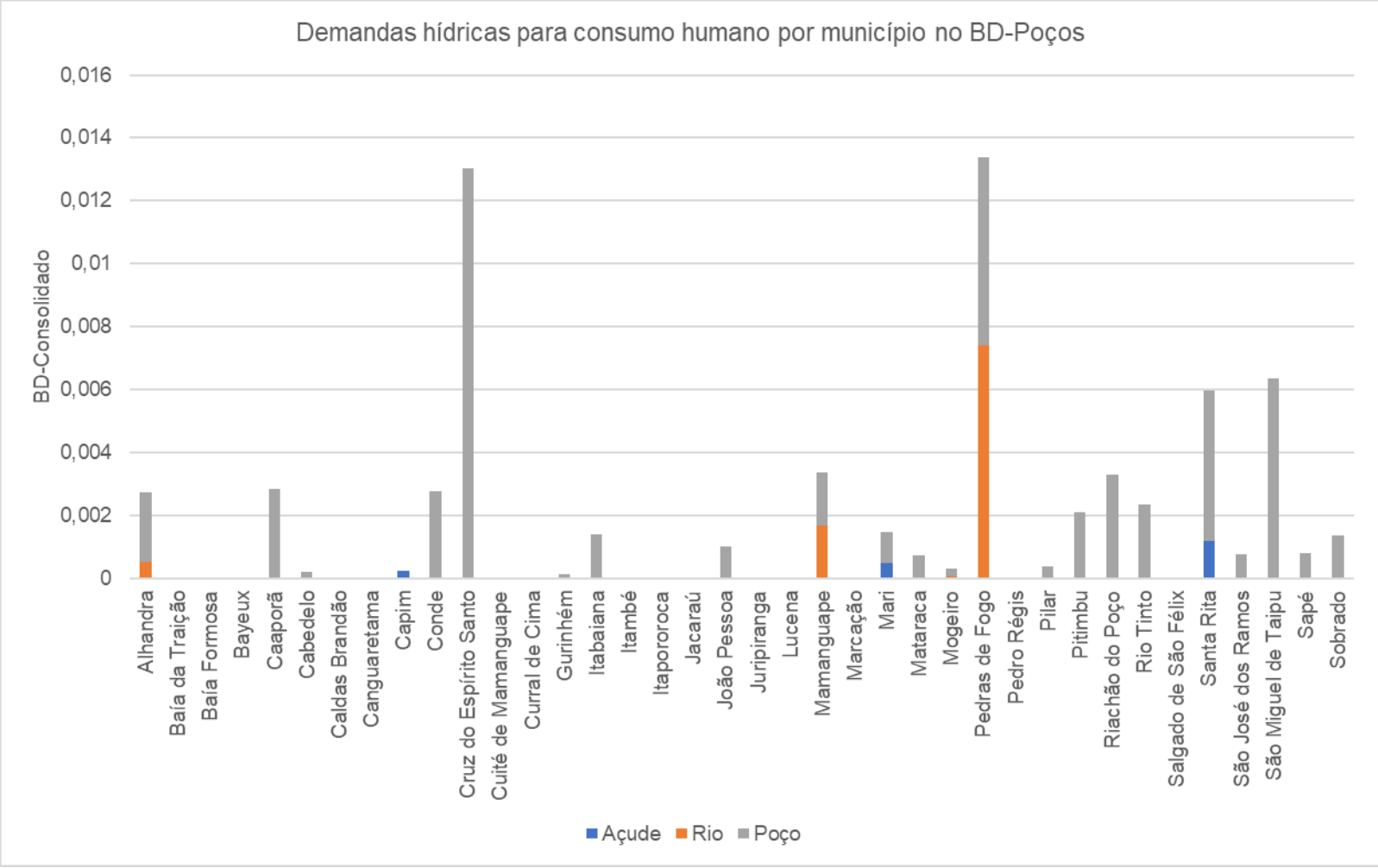


Figura 2.128 – Demandas para consumo humano por município no BD-Consolidado.

No Quadro 2.75, Figura 2.129 e Figura 2.130 estão apresentadas as demandas por bacia hidrográfica.

Quadro 2.75 – Demandas em m³/s para consumo humano por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	BD-Consolidado				BD-Usos
	Açude	Rio	Poço	Total	
Abiaí		0,001	0,008	0,008	0,023
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,000	0,000	0,035	0,035	0,083
Camaratuba		0,002	0,002	0,004	0,020
Gramame		0,007	0,008	0,015	0,035
Guaju			0,001	0,001	0,006
Mamanguape	0,000		0,002	0,002	0,033
Miriri	0,001		0,001	0,002	0,022
Total	**0,002**	**0,010**	**0,055**	**0,067**	**0,223**

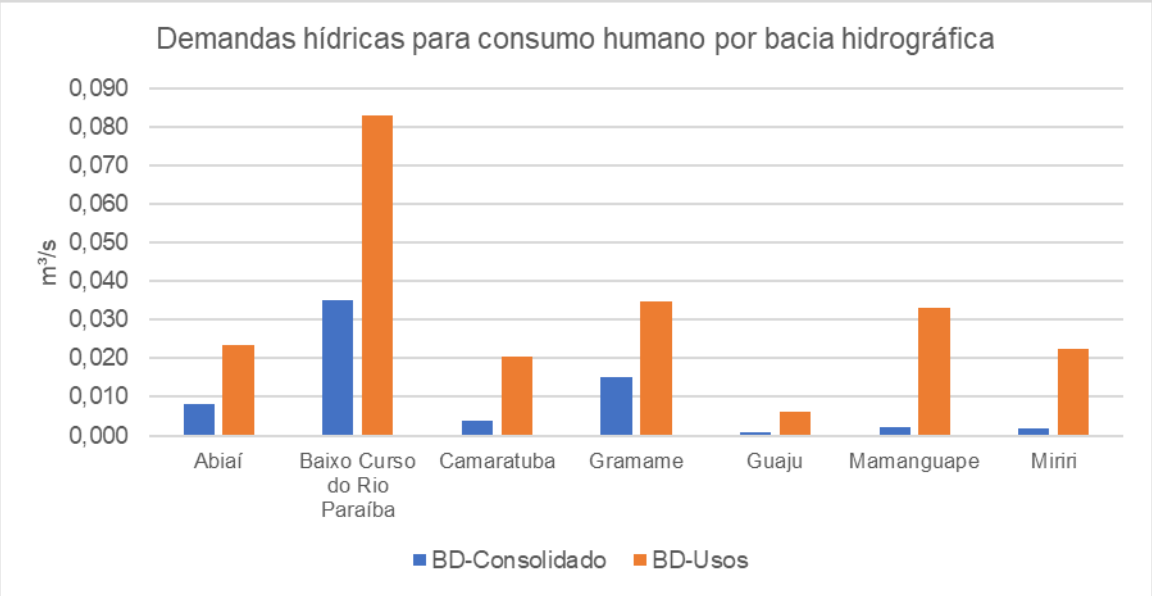


Figura 2.129 – Demandas para consumo humano por bacia hidrográfica nas diferentes bases de dados.

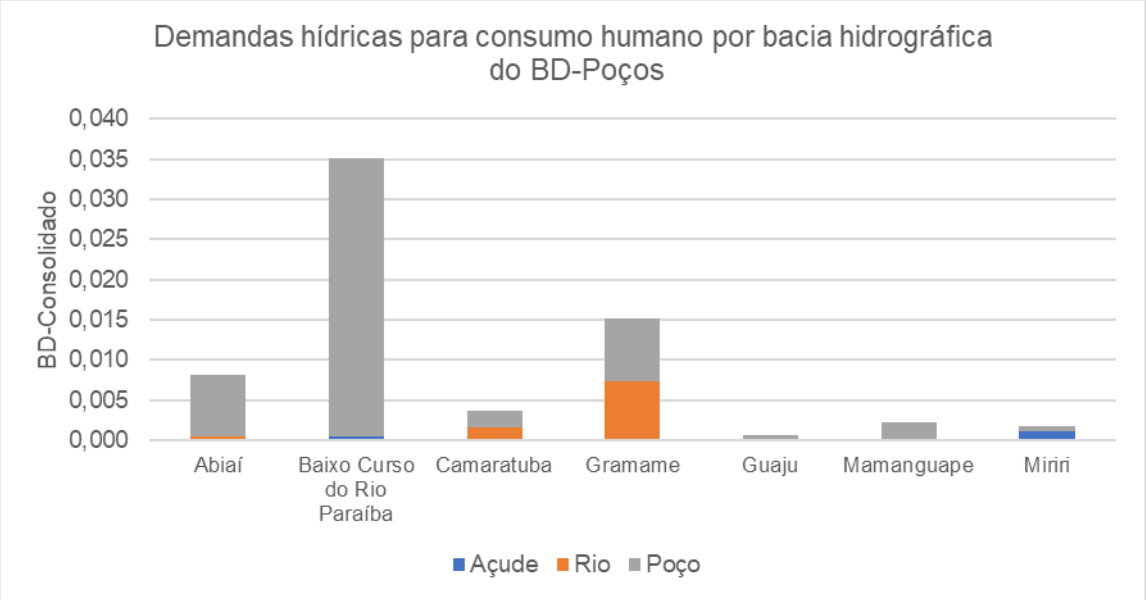


Figura 2.130 – Demandas para consumo humano por bacia hidrográfica no BD-Consolidado.

No mapa da Figura 2.131 estão apresentadas as demandas para consumo humano espacializadas com base no BD-Consolidado. As demandas para esta tipologia de uso são bem pouco expressivas, e bem distribuídas pela área de estudo, consistindo principalmente em demandas subterrâneas nas porções mais continentais da região, longe do litoral. Junto da mineração, é a tipologia de menor uso, com uma demanda total de 0,067 m³/s, sendo 0,055 m³/s provenientes de fontes subterrâneas.

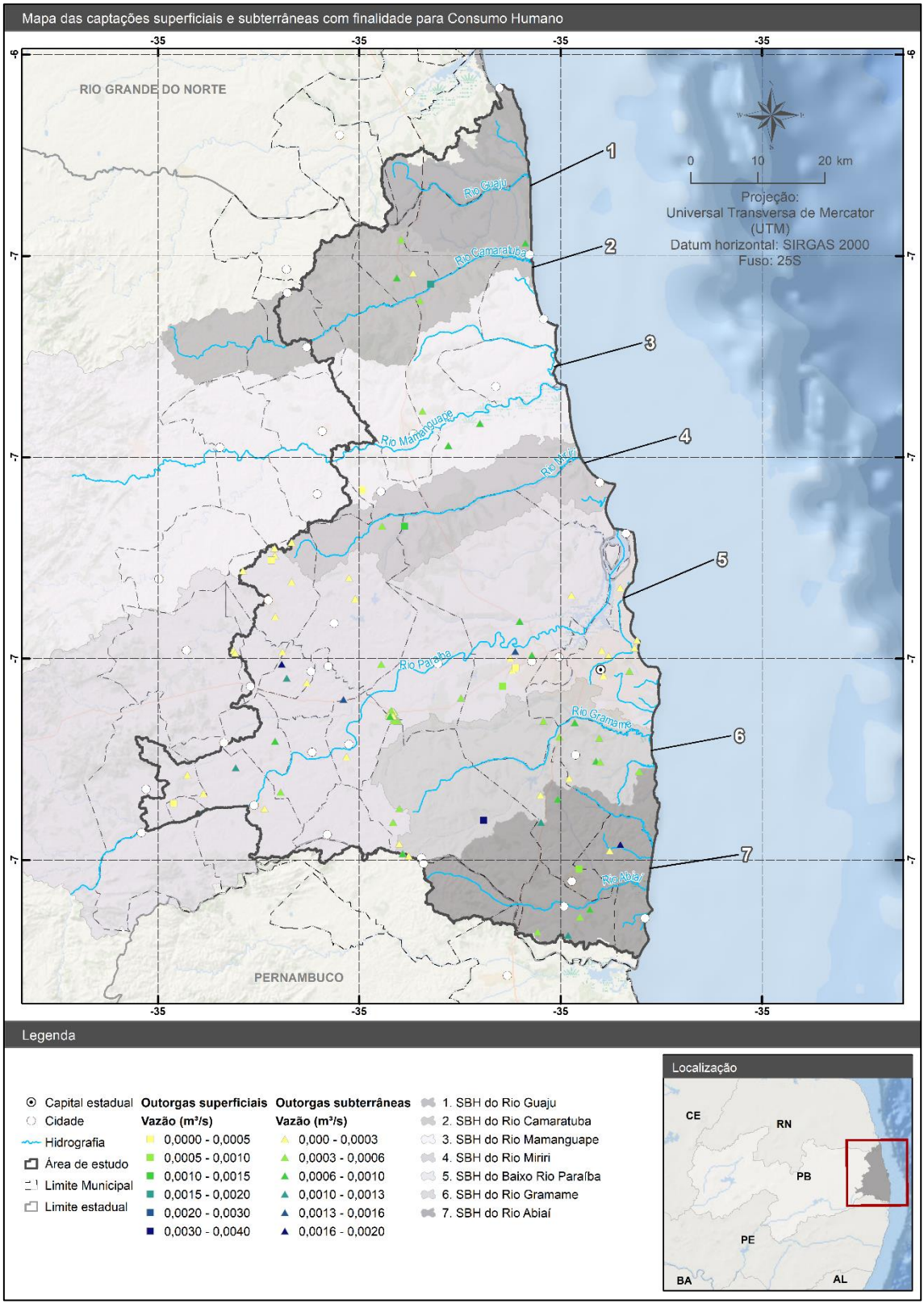


Figura 2.131 – Mapa da localização das demandas para consumo humano do BD-Consolidado.

2.2.8.3 Irrigação

Apesar de ter registrado queda na produção agrícola no período entre 2010 e 2017, que coincide com a última estiagem verificada entre os anos de 2012 e 2018, com expressiva redução de áreas plantadas para diversas culturas da pauta de produtos agrícolas da Paraíba, é alta a demanda hídrica do setor tanto em termos de aproveitamento de águas superficiais como subterrâneas.

A análise da demanda para irrigação teve como fontes de dados o Atlas Irrigação, a BD-Usos e o BD-Consolidado. O Atlas apresenta estimativas de áreas irrigadas por município. Como a cana-de-açúcar é a cultura predominante na maior parte dos municípios, foi utilizado o coeficiente específico de retirada de 0,248 L/s.ha, que é o coeficiente médio para o Estado da Paraíba considerando culturas temporárias. Para os municípios que não se encontram totalmente dentro da área de estudo foi feita uma ponderação da área irrigada considerando o percentual do município dentro da área de estudo.

A BD-Usos tem uma estimativa bem menor de demanda hídrica para irrigação, o que pode ser explicado por diferenças nas metodologias utilizadas nos dois estudos. Com a multiplicação do coeficiente médio de retirada pelas áreas irrigadas, se pressupõe um aproveitamento de 100% das áreas irrigadas, o que não necessariamente corresponde à realidade.

O Atlas apresenta uma boa estimativa do limite superior de demanda hídrica e a demanda da BD-Usos parece um pouco subestimada. O BD-Consolidado se encontra entre os dois valores, com a vantagem de fornecer informações cadastrais, do tipo de manancial e a microlocalização das captações. As demandas por município são apresentadas no Quadro 2.76, na Figura 2.132 e na Figura 2.133.

Quadro 2.76 – Demandas em m³/s para irrigação por município.

Município	BD-Consolidado				BD-Usos	Atlas Irrigação
	Açude	Rio	Poço	Total		
Alhandra	0,022	0,373	0,006	0,401	0,062	0,497
Baía da Traição			0,000		0,035	0,170
Baía Formosa			0,000		0,106	0,281
Bayeux			0,000		0,001	0,000
Caaporã	0,075	0,287	0,001	0,362	0,082	0,687
Cabedelo	0,000		0,000		0,000	0,000

Município	BD-Consolidado				BD-Usos	Atlas Irrigação
	Açude	Rio	Poço	Total		
Caldas Brandão	0,089		0,000	0,089	0,000	0,001
Canguaretama	0,000	0,004	0,000	0,004	0,013	0,048
Capim	0,294	0,021	0,000	0,315	0,051	0,181
Conde	0,007	0,150	0,002	0,159	0,109	0,323
Cruz do Espírito Santo	0,126	0,220	0,000	0,346	0,182	0,441
Cuité de Mamanguape	0,000		0,000		0,024	0,019
Curral de Cima	0,001	0,004	0,000	0,004	0,006	0,006
Gurinhém	0,000		0,000		0,000	0,000
Itabaiana	0,000		0,000		0,000	0,001
Itambé	0,000		0,000		0,039	0,231
Itapororoca	0,000	0,029	0,000	0,029	0,001	0,008
Jacaraú	0,003	0,059	0,000	0,062	0,022	0,083
João Pessoa	0,001	0,003	0,001	0,005	0,000	0,034
Juripiranga	0,065	0,010	0,000	0,075	0,026	0,075
Lucena	0,000	0,572	0,064	0,636	0,083	0,302
Mamanguape	0,463	0,389	0,004	0,856	0,411	0,988
Marcação	0,000		0,000		0,030	0,294
Mari	0,125		0,003	0,128	0,129	0,138
Mataraca	0,005	0,206	0,002	0,214	0,188	0,510
Mogeiro	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Mulungu	0,000		0,000			0,000
Pedras de Fogo	0,196	0,440	0,003	0,639	0,225	0,906
Pedro Régis	0,000		0,000		0,000	0,014
Pilar	0,006	0,001	0,000	0,007	0,000	0,000
Pitimbu	0,002	0,069	0,003	0,074	0,088	0,319
Riachão do Poço	0,000		0,001	0,001	0,000	0,000
Rio Tinto	0,069	0,751	0,112	0,932	0,355	1,487
Salgado de São Félix	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Santa Rita	0,110	1,016	0,046	1,173	0,517	2,463
São José dos Ramos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sapé	0,562	0,043	0,007	0,612	0,155	0,611
Sobrado	0,043		0,005	0,047	0,000	0,007
Total	2,265	4,649	0,261	7,171	2,944	11,124

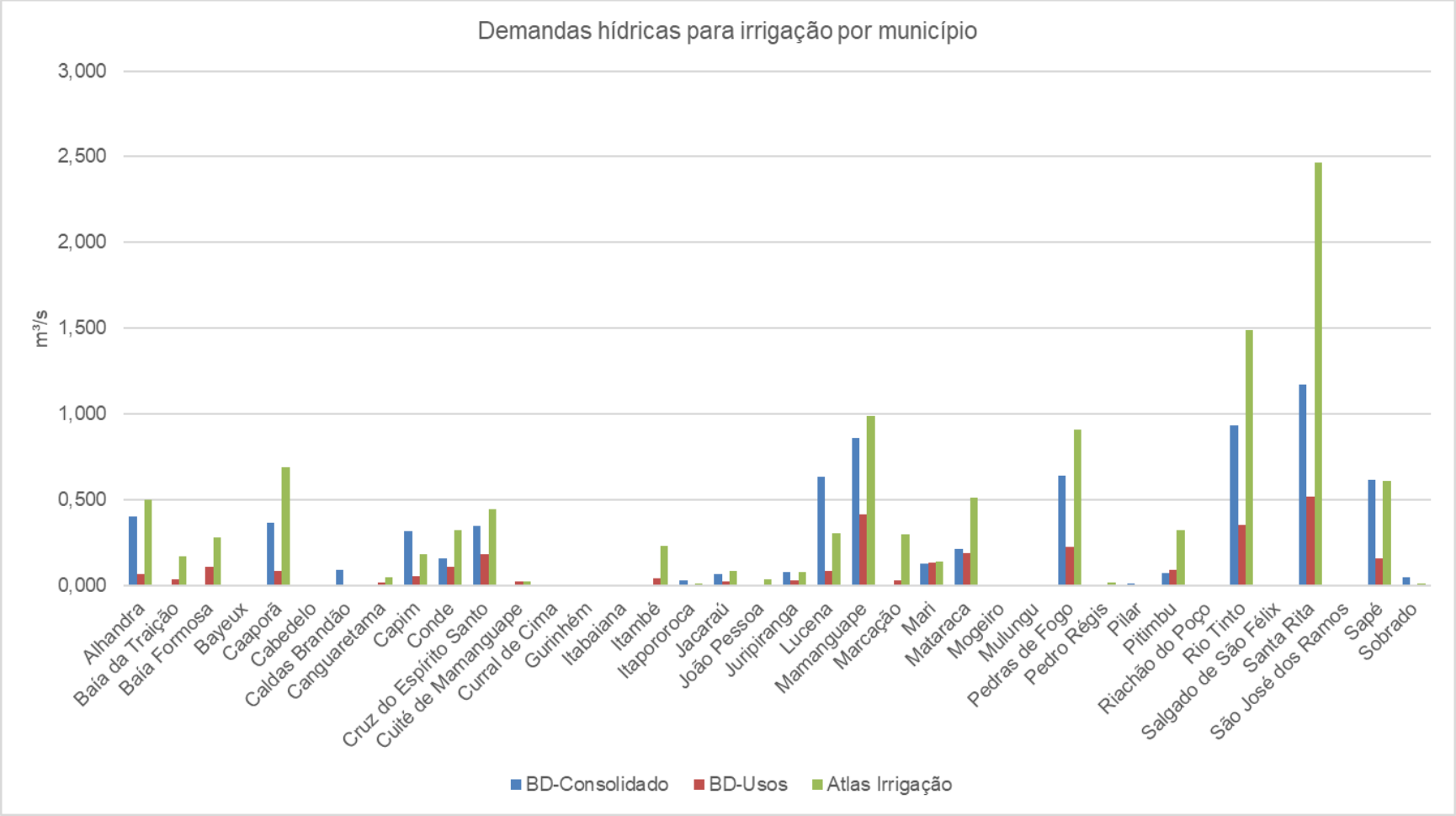


Figura 2.132 – Demandas para irrigação por município nas diferentes bases de dados.

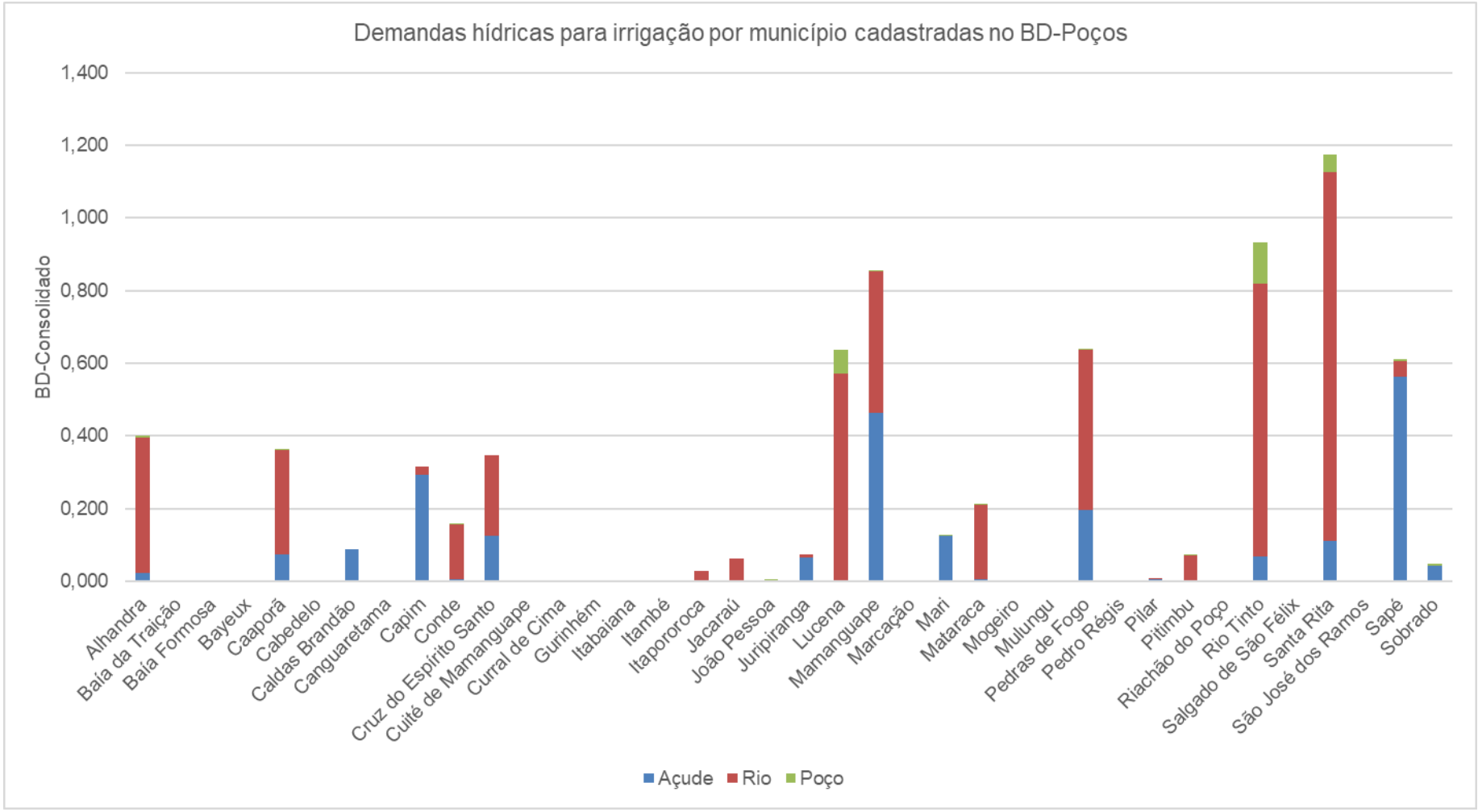


Figura 2.133 – Demandas para irrigação por município no BD-Consolidado.

Nas demandas cadastradas é possível observar a distribuição entre os mananciais subterrâneos e superficiais como fonte de água para a irrigação, onde a grande maioria das demandas se concentram em mananciais superficiais. Apenas 0,261 m³/s da demanda é subterrânea, menos de 4% do total.

No Quadro 2.77, Figura 2.134 e Figura 2.135 estão apresentadas as demandas por bacia hidrográfica. Não se apresentam as demandas do Atlas pois esta base fornece as informações de áreas irrigadas espacializadas apenas por município.

Quadro 2.77 – Demandas em m³/s para irrigação por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	BD-Consolidado				BD-Usos
	Açude	Rio	Poço	Total	
Abiaí	0,270	0,772	0,011	1,053	0,383
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,767	1,537	0,061	2,362	0,721
Camaratuba	0,063	0,337	0,006	0,406	0,352
Gramame	0,087	0,732	0,007	0,826	0,364
Guaju	0,005	0,176	0,000	0,181	0,258
Mamanguape	0,493	0,339	0,019	0,851	0,440
Miriri	0,580	0,756	0,158	1,494	0,426
Total	**2,265**	**4,650**	**0,261**	**7,177**	**2,944**

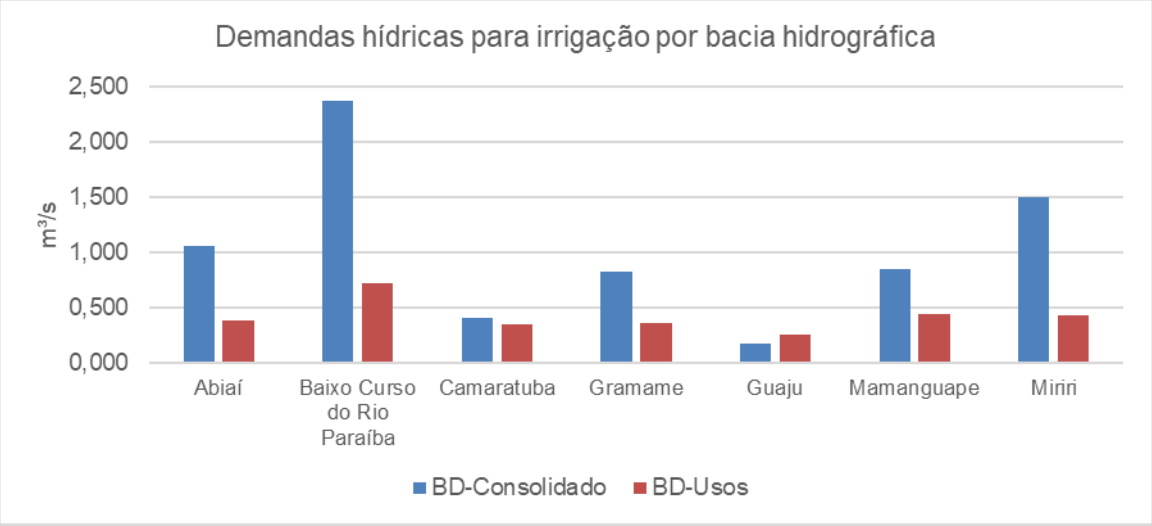


Figura 2.134 – Demandas para irrigação por bacia hidrográfica nas diferentes bases de dados.

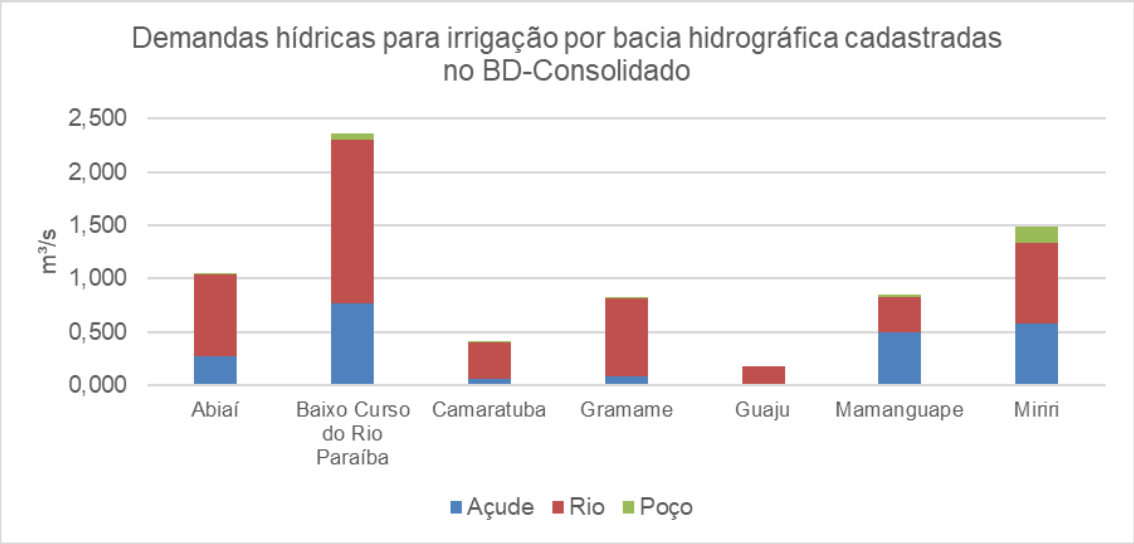


Figura 2.135 – Demandas para irrigação por bacia hidrográfica no BD-Consolidado.

No mapa da Figura 2.136 estão apresentadas as demandas para irrigação espacializadas com base no BD-Consolidado. Uma porção muito pequena da demanda para irrigação é proveniente de fontes subterrâneas (0,261 m³/s de 7,177 m³/s ou 3,64% do total). Embora haja um número maior de captações nas porções norte e sul da área, nas bacias do rio Guajú e do rio Abiaí, as demandas para irrigação estão concentradas na bacia do baixo curso do rio Paraíba e do rio Miriri. As duas maiores captações da área podem ser observadas no rio Miriri, em cor azul mais escura.

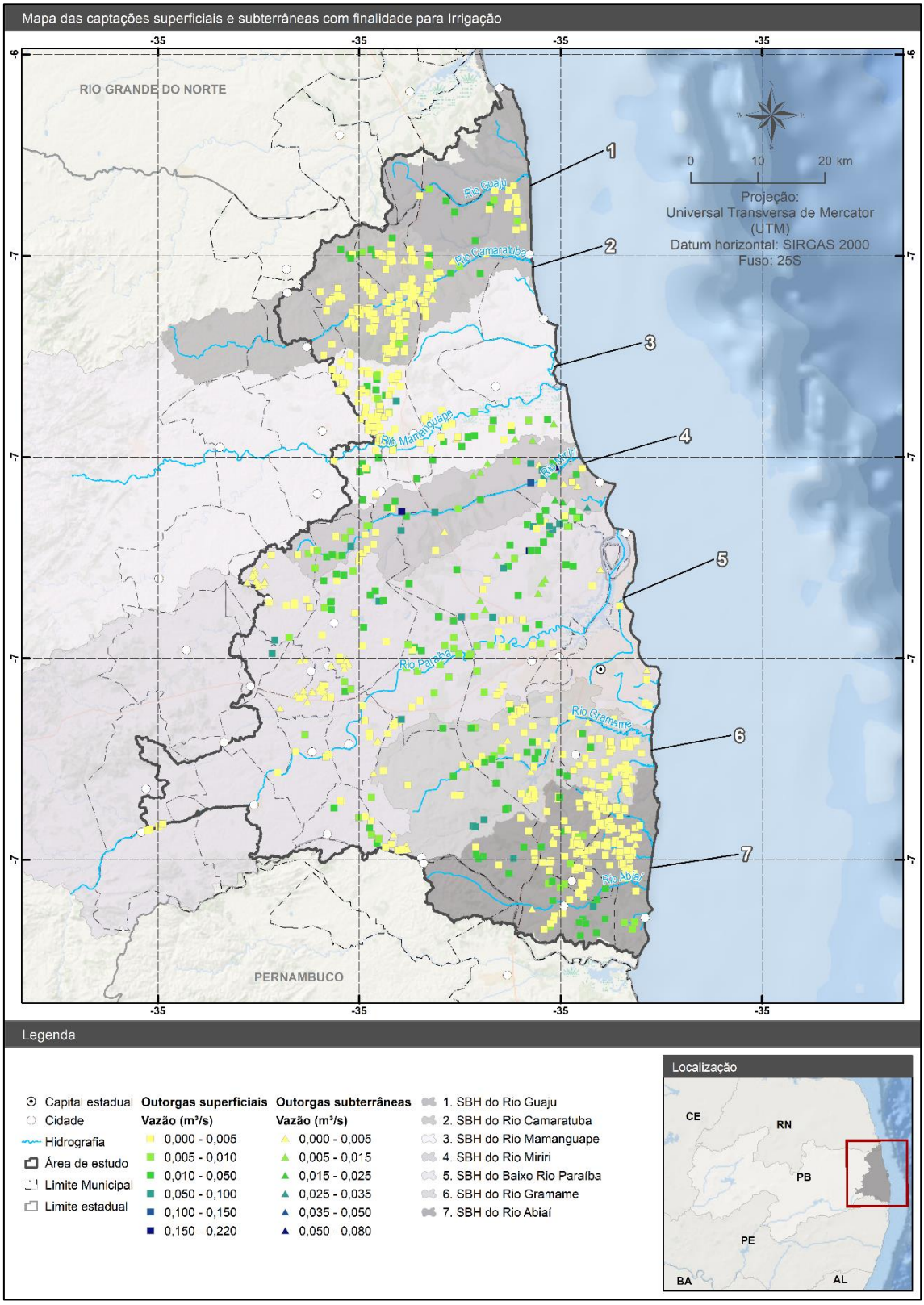


Figura 2.136 – Mapa da localização das demandas para irrigação do BD-Consolidado.

2.2.8.4 Indústria e agroindústria

As demandas de uso industrial foram baseadas no BD-Consolidado e na BD-Usos. O método de estimativa do uso da água na indústria de transformação consiste na aplicação de coeficientes técnicos (vazões médias, por empregado, por tipologia industrial) ao número de trabalhadores de determinada tipologia em determinado município.

Para construção da matriz de coeficientes técnicos de retirada, foram analisados e consistidos os dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH/ ANA, que engloba usuários que utilizam recursos hídricos de domínio da União e dos Estados. Na consideração das tipologias, foi adotada a Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0, que para a indústria de transformação apresenta 24 divisões (códigos 10 a 33), 103 grupos e 258 classes. Buscou-se coeficientes no nível hierárquico mais detalhado, considerando o número de registros disponíveis, sua variabilidade e representatividade. Quando este detalhamento não foi possível, considerou-se o coeficiente do respectivo grupo e, em último caso, da divisão.

Os coeficientes técnicos de consumo para as tipologias industriais baseiam-se em estudo do MMA (BRASIL, 2011). Apesar da matriz utilizar o volume da produção, e não o número de empregados, como variável explicativa para a demanda hídrica, foram adotados os fatores de proporcionalidade entre os coeficientes de retirada e consumo (%), uma vez que tais valores foram propostos e validados com a participação do setor industrial.

Quanto às bases de dados sobre número de trabalhadores, destaca-se que a partir de 2002 estão disponíveis as informações de caráter censitário do Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS), as quais apresentam aderência direta com a matriz de coeficientes elaborada. Os microdados da RAIS são disponibilizados pelo Ministério do Trabalho.

Em relação ao BD-Consolidado, foram considerados os registros de usos tanto da indústria tradicional quanto para agroindústria, representada principalmente pela agroindústria sucroalcooleira, destinado basicamente ao cultivo irrigado da cana de açúcar. Extensas áreas da região litorânea do Estado da Paraíba são ocupadas por esta

atividade, historicamente importante para a economia estadual, dominada, em geral, por grandes empresas do setor agroindustrial.

No Quadro 2.78 e na Figura 2.137 estão apresentadas as demandas hídricas para atividade industrial por município nas duas bases de dados utilizadas, tanto para agroindústria quanto para indústria tradicional.

Quadro 2.78 – Demandas em m³/s para uso industrial por município.

Município	Agroindustrial				Industrial				Total	BD-Usos
	Açude	Rio	Poço	Total	Açude	Rio	Poço	Total		
Alhandra		0,000		0,000			0,013	0,013	0,013	0,007
Baía da Traição										0,000
Baía Formosa										0,468
Bayeux					0,001		0,003	0,004	0,004	0,007
Caaporã	0,041		0,000	0,042			0,003	0,003	0,044	0,188
Cabedelo					0,004		0,017	0,021	0,021	0,020
Caldas Brandão										0,000
Canguaretama										0,000
Capim										0,000
Conde						0,050	0,036	0,086	0,086	0,008
Cruz do Espírito Santo	0,037			0,037					0,037	0,004
Cuité de Mamanguape										0,000
Curral de Cima										0,000
Gurinhém										0,000
Itabaiana						0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Itambé										0,000
Itapororoca										0,000
Jacaraú								0,000	0,000	0,005
João Pessoa			0,013	0,013	0,001	0,004	0,207	0,212	0,225	0,306
Juripiranga										0,068
Lucena			0,010	0,010			0,000	0,000	0,010	0,040
Mamanguape	0,036	0,205	0,002	0,243			0,001	0,001	0,244	0,442
Marcação										0,000
Mari							0,000	0,000	0,000	0,000
Mataraca										0,000
Mogeiro							0,001	0,001	0,001	0,000
Pedras de Fogo		0,038	0,002	0,040	0,020	0,038	0,012	0,070	0,110	0,393
Pedro Régis										0,000
Pilar			0,000	0,000					0,000	0,000
Pitimbu							0,022	0,022	0,022	0,007
Riachão do Poço						0,000	0,002	0,002	0,002	0,000
Rio Tinto		0,214	0,000	0,214					0,214	0,170
Salgado de São Félix										0,000
Santa Rita		0,189	0,001	0,190	0,110		0,012	0,122	0,312	0,785
São José dos Ramos										0,000
São Miguel de Taipu										0,000
Sapé	0,018		0,000	0,019	0,003	0,001	0,001	0,004	0,023	0,001
Sobrado			0,000	0,000			0,005	0,005	0,005	0,000
Total	**0,132**	**0,647**	**0,029**	**0,808**	**0,138**	**0,093**	**0,336**	**0,567**	**1,374**	**2,920**

Vale mencionar algumas considerações importantes a respeito da diferença de demandas cadastradas e estimadas para a tipologia de uso industrial. A estimativa de demandas industriais é complexa, pois as atividades industriais são várias e muito

diferentes entre si. Metodologias baseadas em número de empregados, por exemplo, estão bastante sujeitas ao erro, embora seja uma das poucas informações disponíveis em dados secundários.

O cadastro, por outro lado, tem bastante confiabilidade, pois é mais difícil para uma indústria operar sem outorga, visto que as outorgas são necessárias junto aos pedidos de licenciamento, e a fiscalização de indústrias é mais fácil do que de outros usos. Por isso, neste caso específico, há preferência pela utilização das informações cadastrais. Na Figura 2.138 estão apresentados os dados de demanda do BD-Consolidado.

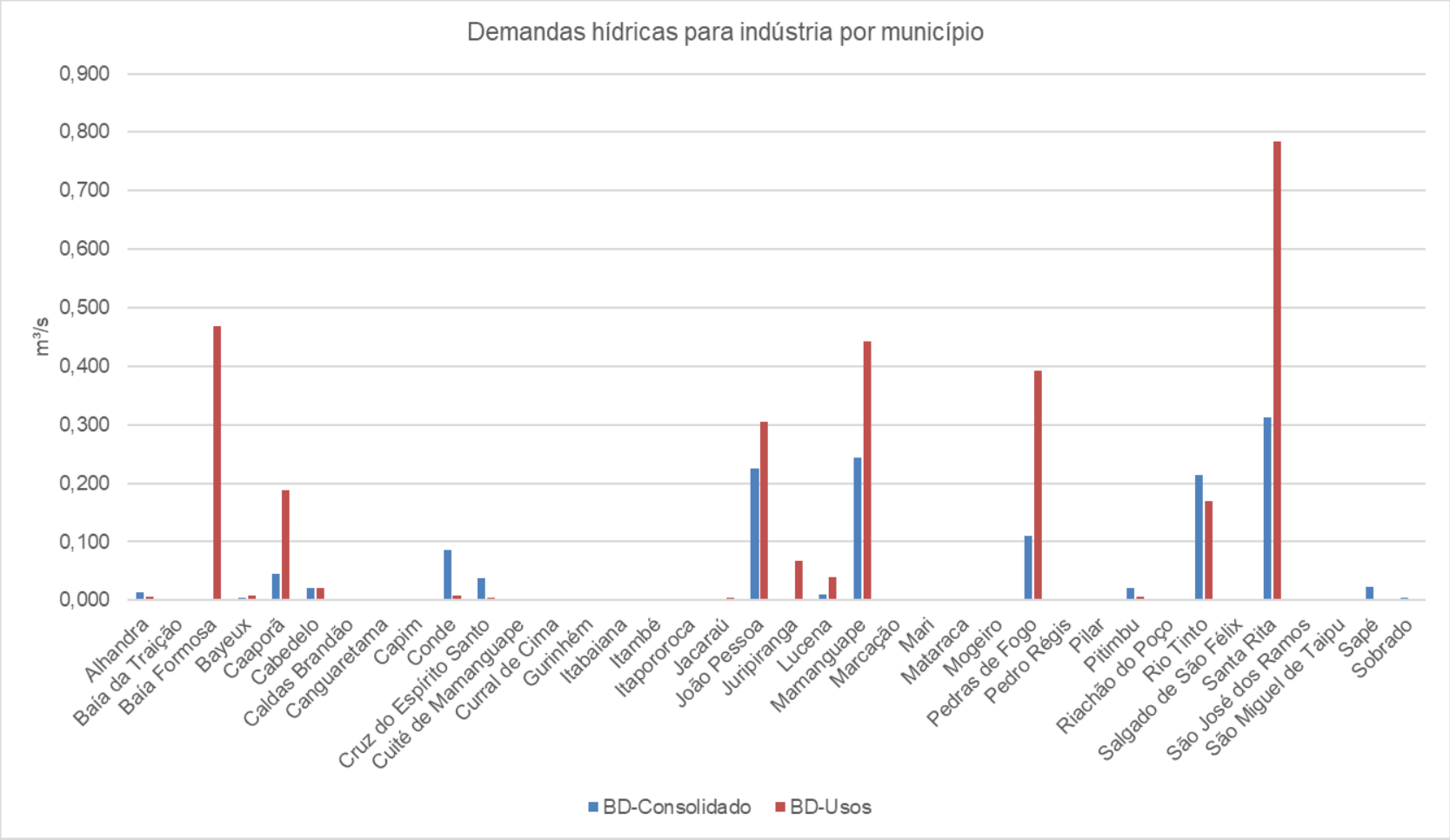


Figura 2.137 – Demandas para indústria por município nas diferentes bases de dados.

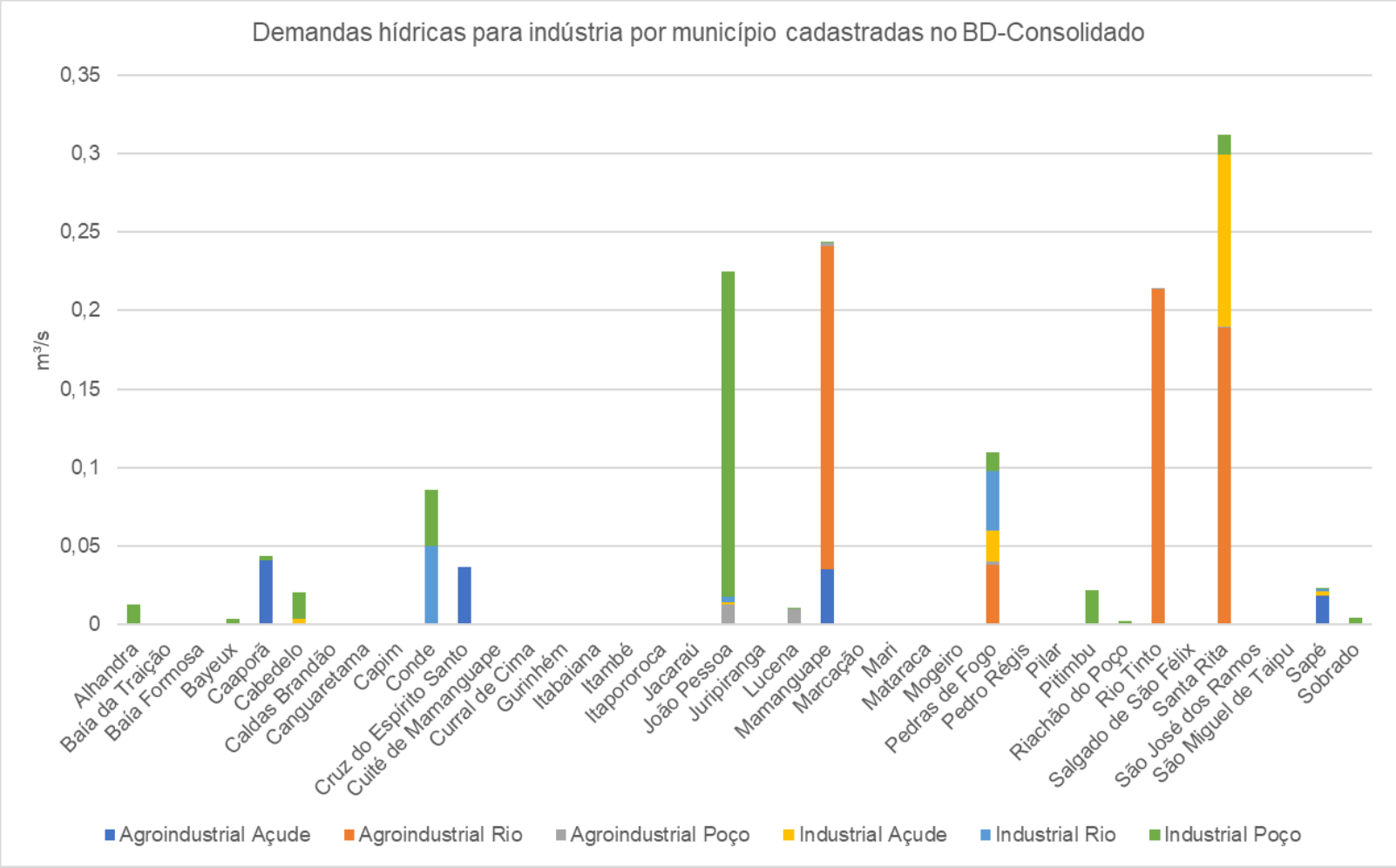


Figura 2.138 – Demandas para indústria por município no BD-Consolidado.

No Quadro 2.79, Figura 2.139 e na Figura 2.140 estão apresentadas as demandas do BD-Consolidado por bacia hidrográfica.

Quadro 2.79 – Demandas em m³/s para uso industrial por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	BD-Consolidado									BD-Usos
	Agroindustrial				Industrial				Total	
	Açude	Rio	Poço	Total	Açude	Rio	Poço	Total		
Abiaí	0,041	0,000	0,003	0,044			0,046	0,046	0,090	0,365
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,037	0,189	0,020	0,246	0,008	0,001	0,093	0,102	0,348	1,075
Camaratuba		0,214	0,002	0,215				0,000	0,216	0,178
Gramame		0,038	0,005	0,043	0,020	0,091	0,195	0,306	0,349	0,374
Guaju										0,469
Mamanguape	0,036	0,205	0,000	0,241			0,001	0,001	0,242	0,396
Miriri	0,018			0,018	0,110	0,000	0,001	0,111	0,130	0,063
Total	**0,132**	**0,647**	**0,029**	**0,808**	**0,138**	**0,093**	**0,336**	**0,567**	**1,374**	**2,920**

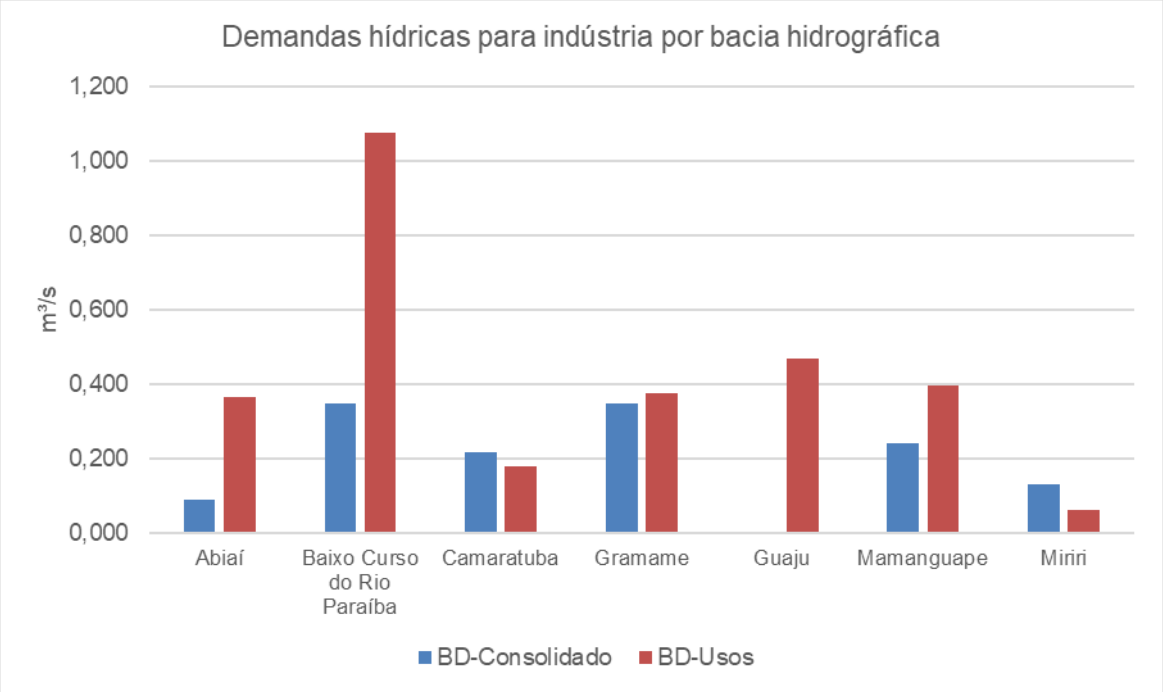


Figura 2.139 – Demandas para indústria por bacia hidrográfica nas diferentes bases de dados.

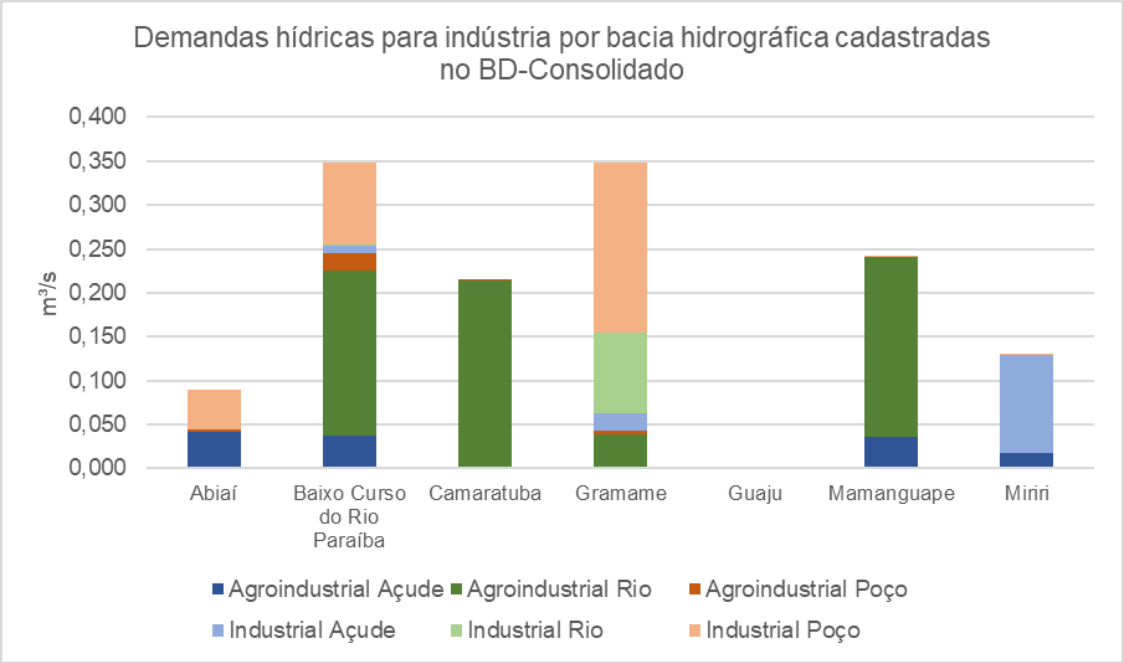


Figura 2.140 – Demandas para indústria por bacia hidrográfica no BD-Consolidado.

No mapa da Figura 2.141 estão apresentadas as demandas para indústria e agroindústria espacializadas com base no BD-Consolidado. A maior parte das captações está concentrada em João Pessoa e arredores, na bacia do baixo curso do rio Paraíba, que concentra a maior parte da demanda. Além disso, é possível identificar algumas grandes captações no rio Camaratuba, no rio Mamanguape, e em um afluente do rio Paraíba. As demandas industriais e agroindustriais são mais bem distribuídas entre superficial e subterrânea do que as demais tipologias de uso, com 26,55% da demanda sendo proveniente de fontes subterrâneas (0,365 m³/s de 1,375 m³/s).

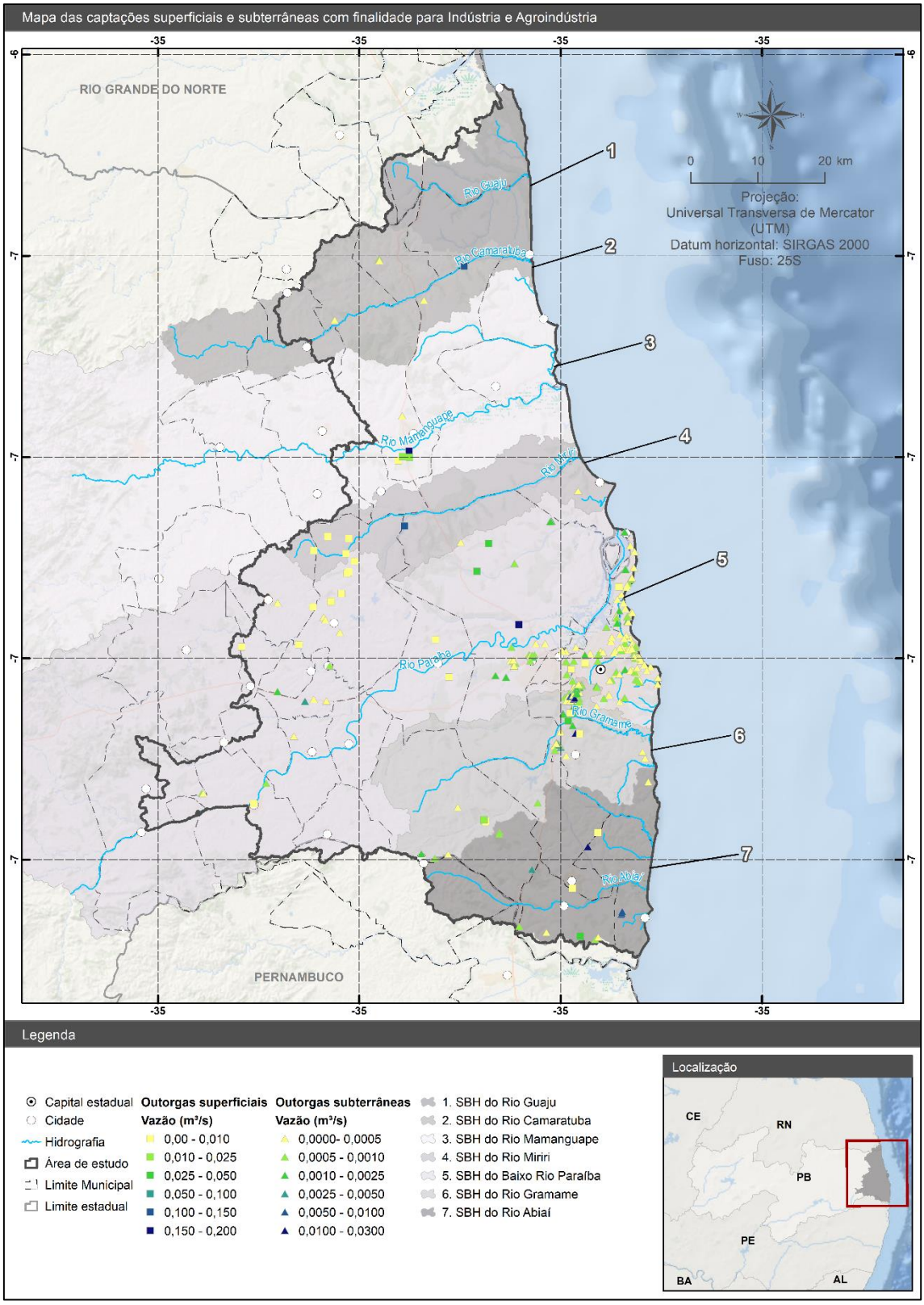


Figura 2.141 – Mapa da localização das demandas para indústria e agroindústria do BD-Consolidado.

2.2.8.5 Aquicultura

A aquicultura é praticada no Estado da Paraíba em três diferentes métodos de criação de espécies aquáticas: a criação artesanal em reservatórios; em tanques rede; e em tanques escavados, sendo que para as duas últimas modalidades são exigidas outorgas de uso das águas pelos órgãos gestores, no caso dos corpos hídricos estaduais geridas pela AESA.

Para os tanques-rede, como estão instalados em meio aquático do corpo hídrico que abriga a atividade, não há demanda hídrica específica avaliada, diferentemente dos tanques ou viveiros escavados em que o manejo implica no desaguamento dos tanques, isto significa que há a necessidade de esgotamentos, com lançamento dos efluentes no curso d'água, e de reenchimentos, através de captação e adução dos mananciais mais próximos.

Conforme apresentado no Diagnóstico Atual dos Recursos Hídricos (AESA, 2022) a pesquisa do IBGE sobre a produção da aquicultura traz informações sobre o tipo de produto dentre diversas espécies cultivadas e os volumes da produção. Estas informações são apresentadas no Quadro 2.80, a seguir.

Quadro 2.80 – Produção da aquicultura no Estado da Paraíba (ano base 2017).

Espécie	Produção (kg)
Curimatã, curimbatá (Quilogramas)	10.850
Piau, piapara, piauçu, piava (Quilogramas)	7.850
Pirarucu (Quilogramas)	200
Tambaqui (Quilogramas)	16.256
Tilápia (Quilogramas)	2.338.171
Traíra e trairão (Quilogramas)	10.000
Tucunaré (Quilogramas)	5.700
Outros peixes (Quilogramas)	4.950
Alevinos (Milheiros)	5.450
Camarão (Quilogramas)	2.598.580
Larvas e pós-larvas de camarão (Milheiros)	50.000

Dentre os produtos da atividade aquícola, destacam-se pelo tamanho da produção, as criações de camarão e tilápia, com grandes áreas de tancagem distribuídas por diversos municípios. O Quadro 2.81 abaixo, apresenta a demanda hídrica da aquicultura na área de estudo cadastrados no BD-Consolidado. A BD-Usos não possui estimativas para a aquicultura, então o BD-Consolidado é a única fonte de dados disponível.

Quadro 2.81 – Demandas em m³/s para aquicultura por município cadastradas no BD-Consolidado.

Município	Açude	Rio	Poço	Total
Alhandra	0,000	0,009	0,000	0,009
Baía da Traição				
Baía Formosa				
Bayeux				
Caaporã	0,000	0,046	0,000	0,046
Cabedelo				
Caldas Brandão	0,000	0,002	0,000	0,002
Canguaretama				
Capim	0,000	0,037	0,000	0,037
Conde				
Cruz do Espírito Santo	0,026	0,021	0,000	0,048
Cuité de Mamanguape				
Curral de Cima				
Gurinhém				
Itabaiana	0,015	0,068	0,012	0,095
Itambé				
Itapororoca				
Jacaraú				
João Pessoa				0,000
Juripiranga	0,000	0,001	0,000	0,001
Lucena	0,000	0,005	0,003	0,008
Mamanguape	0,000	0,033	0,000	0,033
Marcação				
Mari	0,003	0,003	0,000	0,006
Mataraca				
Mogeiro	0,000	0,066	0,002	0,068
Pedras de Fogo	0,000	0,000	0,003	0,003
Pedro Régis				
Pilar	0,000	0,200	0,000	0,200
Pitimbu				
Riachão do Poço	0,042	0,000	0,000	0,042
Rio Tinto	0,000	0,002	0,000	0,002
Salgado de São Félix	0,000	0,025	0,000	0,025
Santa Rita	0,000	0,039	0,000	0,039
São José dos Ramos	0,000	0,003	0,000	0,003
São Miguel de Taipu	0,001	0,128	0,011	0,141
Sapé	0,025	0,007	0,000	0,033
Sobrado	0,003	0,003	0,000	0,006
Total	**0,115**	**0,699**	**0,031**	**0,845**

Na Figura 2.142 estão apresentadas as demandas para aquicultura por município.

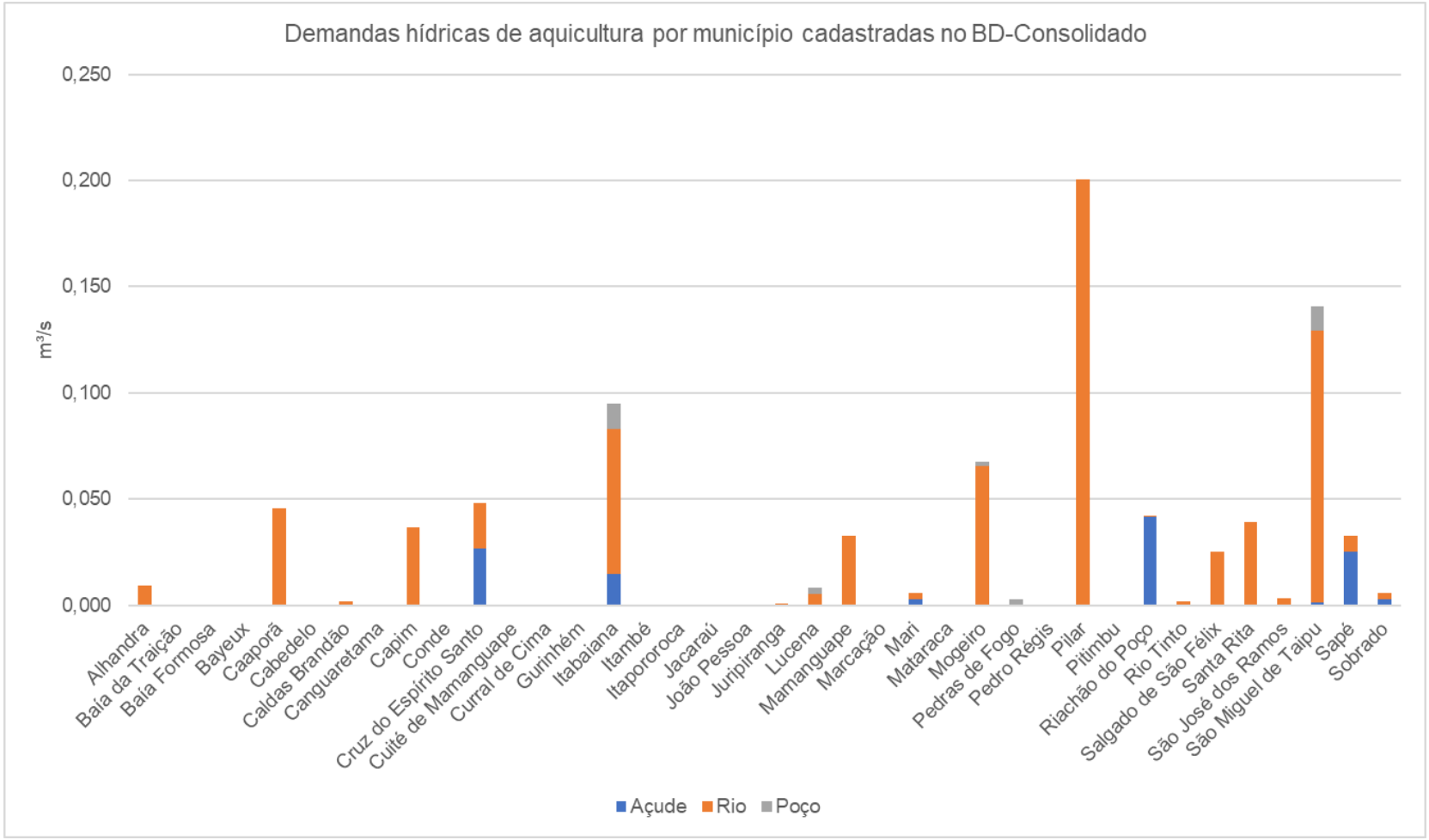


Figura 2.142 – Demandas para aquicultura por município no BD-Consolidado.

As demandas distribuídas por bacia hidrográfica estão apresentadas no Quadro 2.82 e na Figura 2.143.

Quadro 2.82 – Demandas em m³/s para aquicultura por bacia hidrográfica cadastradas no BD-Consolidado.

Bacia Hidrográfica	BD-Consolidado			
	Aquicultura			
	Açude	Poço	Rio	Total
Abiaí			0,052	0,052
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,101	0,026	0,561	0,688
Camaratuba			0,022	0,022
Gramame		0,003	0,015	0,017
Guaju				0,000
Mamanguape			0,050	0,050
Miriri	0,013	0,003		0,016
Total	**0,115**	**0,031**	**0,699**	**0,845**

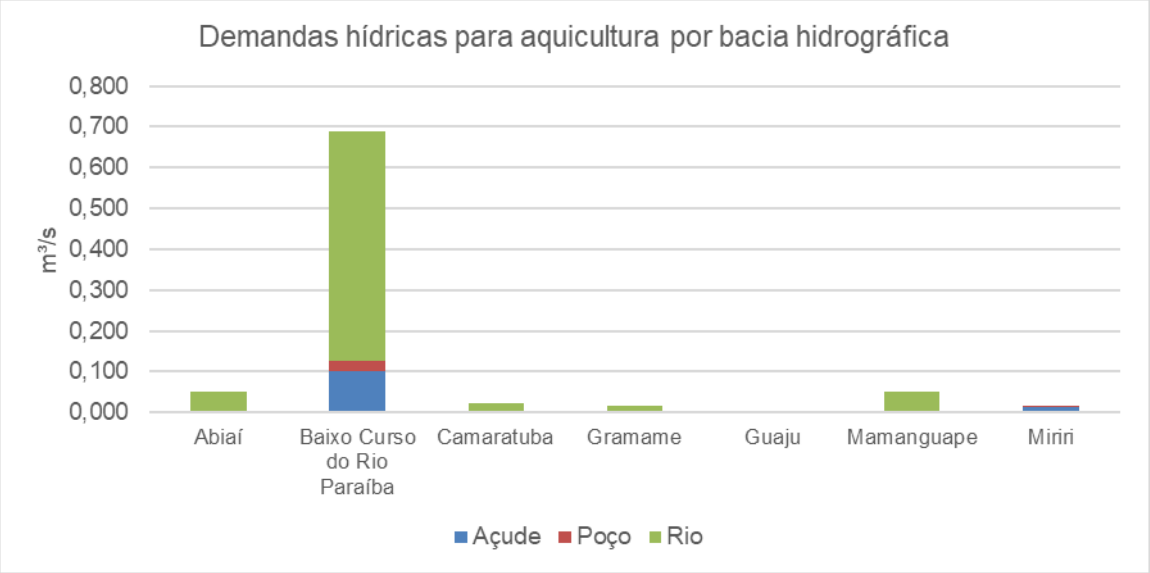


Figura 2.143 – Demandas para aquicultura por bacia hidrográfica no BD-Consolidado.

No mapa da Figura 2.144 estão apresentadas as demandas aquicultura espacializadas com base no BD-Consolidado. As demandas para aquicultura são muito concentradas no rio Paraíba e seus afluentes, na bacia hidrográfica do Baixo Curso do Rio Paraíba, que concentra 81,4% da demanda total. Uma pequena parcela é de fontes subterrâneas, 3,67% da demanda total.

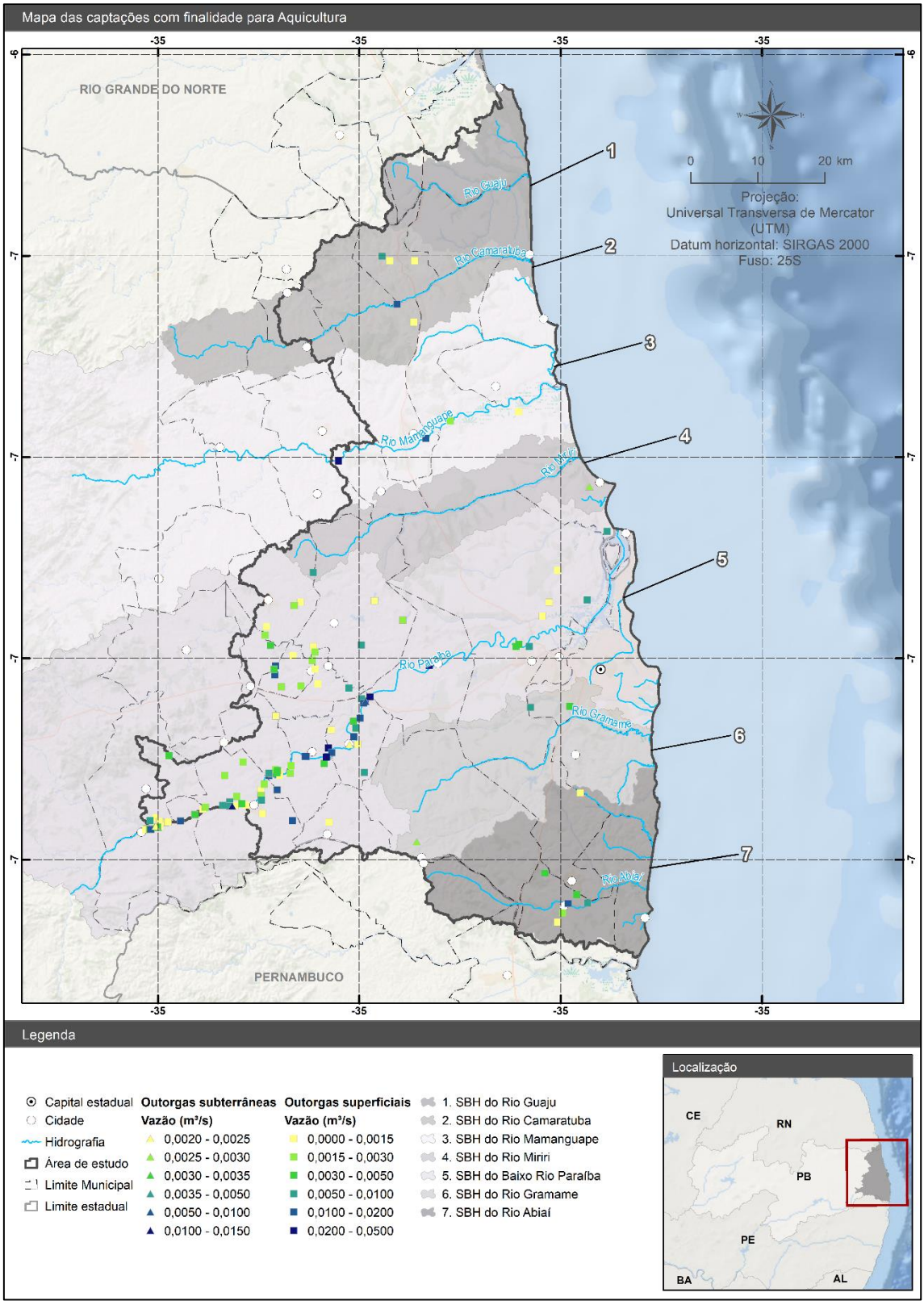


Figura 2.144 – Mapa da localização das demandas para aquicultura do BD-Consolidado.

2.2.8.6 Criação animal

Não há registros de demandas hídricas para criação animal no BD-Consolidado, então a única fonte de dados disponível para este uso é a BD-Usos.

O método adotado para estimativa da criação animal na BD-Usos é similar ao de estudos nacionais e internacionais de referência. Consiste na aplicação de coeficientes técnicos per capita (litros por dia por cabeça), por tipo de rebanho, ao número de cabeças registrado ou estimado no ano de referência. A conceituação dos rebanhos e o coeficiente utilizado está apresentado no Quadro 2.83. Os números quantitativos dos rebanhos foram obtidos da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE. Como os dados da BD-Usos são estimados, eles não consideram a fonte de uso, entre superficial e subterrânea.

Quadro 2.83 – Tipos de rebanhos e coeficientes técnicos utilizados.

Espécie	Coeficiente (L/cabeça.dia)
Bovino	80
Vacas ordenhadas	127,5
Suíno	18,7
Bubalino	50
Equino	40
Ovino	10
Caprino	10
Galináceo	0,22
Galinhas	0,27
Codornas	0,18

Fonte: ANA (2019b)

No Quadro 2.84 estão apresentados os rebanhos dos municípios da área de estudo.

Quadro 2.84 – Tamanhos e tipos dos rebanhos por municípios.

Município	Tipo de rebanho (em número de cabeças)							
	Bovino	Bubalino	Equino	Suíno	Caprino	Ovino	Galináceos	Codornas
Alhandra	2.700	-	160	330	100	170	290.000	-
Baía da Traição	800	-	105	300	215	175	5.500	-
Baía Formosa	550	-	45	90	208	152	2.665	-
Bayeux	260	-	77	943	118	95	3.600	-
Caaporã	1.290	-	105	200	120	240	400.000	1.000
Cabedelo	156	-	36	405	104	26	605	-
Caldas Brandão	2.800	-	320	450	300	400	30.000	-
Canguaretama	3.600	-	287	417	39	539	1.585	-
Capim	1.750	-	350	140	150	200	75.000	-
Conde	2.400	-	160	520	220	950	28.000	60.000
Cruz do Espírito Santo	2.100	-	415	2.300	600	700	30.000	-
Cuité de Mamanguape	3.500	-	300	250	275	210	6.000	-
Curral de Cima	6.600	-	250	280	400	500	12.000	-
Gurinhém	17.700	-	900	2.000	1.500	5.500	140.000	200
Itabaiana	9.000	-	700	3.000	4.400	3.800	180.000	800
Itambé	3.935	-	162	1.457	1.583	1.807	36.000	-
Itapororoca	7.900	-	210	575	270	310	13.645	-
Jacaraú	6.500	10	375	560	650	460	16.000	-
João Pessoa	4.500	-	730	3.210	440	890	115.000	44.000
Juripiranga	2.000	-	90	280	470	400	8.600	180
Lucena	350	-	80	220	100	80	4.500	-
Mamanguape	3.200	-	300	865	405	475	750.000	-
Marcação	280	-	90	130	115	100	9.800	-
Mari	11.000	-	535	1.100	800	1.800	45.000	12.000
Mataraca	1.200	-	70	150	70	170	4.500	-
Mogeiro	9.500	25	1.150	900	3.800	2.800	56.560	1.700
Pedras de Fogo	4.000	-	325	1.240	1.400	630	1.058.000	-
Pedro Régis	3.100	-	230	250	495	225	12.300	-
Pilar	5.100	-	310	540	700	600	24.000	-
Pitimbu	750	-	85	95	70	170	9.000	-
Riachão do Poço	3.200	-	300	255	370	350	12.000	-
Rio Tinto	2.200	-	200	450	275	175	27.000	-
Salgado de São Félix	5.000	-	500	650	2.100	1.450	17.000	-
Santa Rita	4.500	-	255	2.200	450	660	235.000	53.000
São José dos Ramos	5.200	-	550	520	850	900	22.000	-
São Miguel de Taipu	4.200	-	270	280	600	500	13.500	-
Sapé	7.500	230	530	1.075	950	1.450	240.000	-
Sobrado	3.600	-	300	520	780	500	28.000	-
Total	**153.921**	**265**	**11.857**	**29.147**	**26.492**	**30.559**	**3.962.360**	**172.880**

Considerando os coeficientes apresentados no Quadro 2.84, e tamanhos de rebanhos, se obtém uma demanda hídrica de 0,172 m³/s. A demanda total estimada na BD-Usos é de 0,097 m³/s. Considerando que parte dos municípios não estão localizados totalmente na área de estudo, os valores estão coerentes.

Quadro 2.85 – Demandas em m³/s para criação animal por município estimadas na BD-Usos.

Município	BD-Usos
Alhandra	0,003
Baía da Traição	0,001
Baía Formosa	0,000
Bayeux	0,000
Caaporã	0,001
Cabedelo	0,000
Caldas Brandão	0,002
Canguaretama	0,000
Capim	0,002
Conde	0,005
Cruz do Espírito Santo	0,003
Cuité de Mamanguape	0,002
Curral de Cima	0,002
Gurinhém	0,000
Itabaiana	0,005
Itambé	0,001
Itapororoca	0,000
Jacaraú	0,002
João Pessoa	0,006
Juripiranga	0,002
Lucena	0,001
Mamanguape	0,005
Marcação	0,000
Mari	0,008
Mataraca	0,002
Mogeiro	0,001
Pedras de Fogo	0,00
Pedro Régis	0,001
Pilar	0,003
Pitimbu	0,001
Riachão do Poço	0,001
Rio Tinto	0,003
Salgado de São Félix	0,000
Santa Rita	0,008
São José dos Ramos	0,003
São Miguel de Taipu	0,003
Sapé	0,007
Sobrado	0,002
Total	**0,097**



Figura 2.145 – Demandas para criação animal por município na BD-Usos.

No Quadro 2.86 e na Figura 2.146 estão apresentadas as demandas por bacia hidrográfica.

Quadro 2.86 – Demandas em m³/s para criação animal por bacia hidrográfica estimadas na BD-Usos.

Bacia Hidrográfica	Criação animal
Abiaí	0,008
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,046
Camaratuba	0,008
Gramame	0,017
Guaju	0,002
Mamanguape	0,008
Miriri	0,007
Total	**0,097**

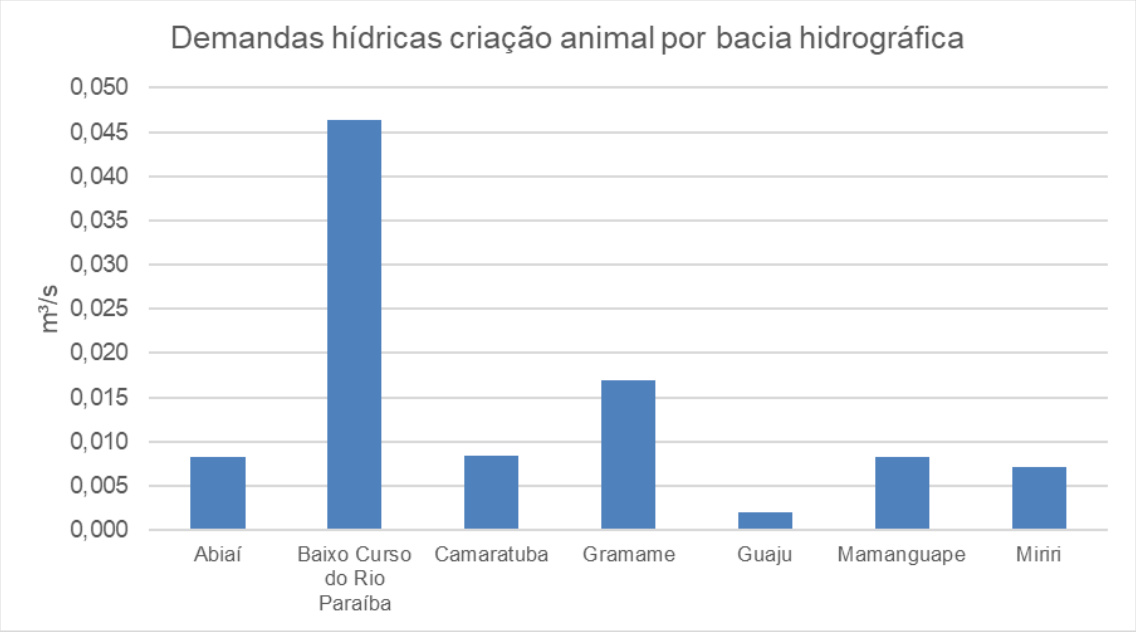


Figura 2.146 – Demandas para criação animal por bacia hidrográfica na BD-Usos.

No mapa da Figura 2.147 estão apresentadas as demandas de criação animal espacializadas com base na BD-Usos. Diferente das tipologias anteriores, a quantificação das demandas é oriunda da BD-Usos, que é uma estimativa das demandas, não baseada em um cadastro, e por isso não há discriminação entre demandas superficiais e subterrâneas. É possível observar uma predominância das demandas para criação animal na região mais ocidental da área de estudo, longe do litoral, com maior concentração nas bacias do baixo curso do rio Paraíba e Gramame.

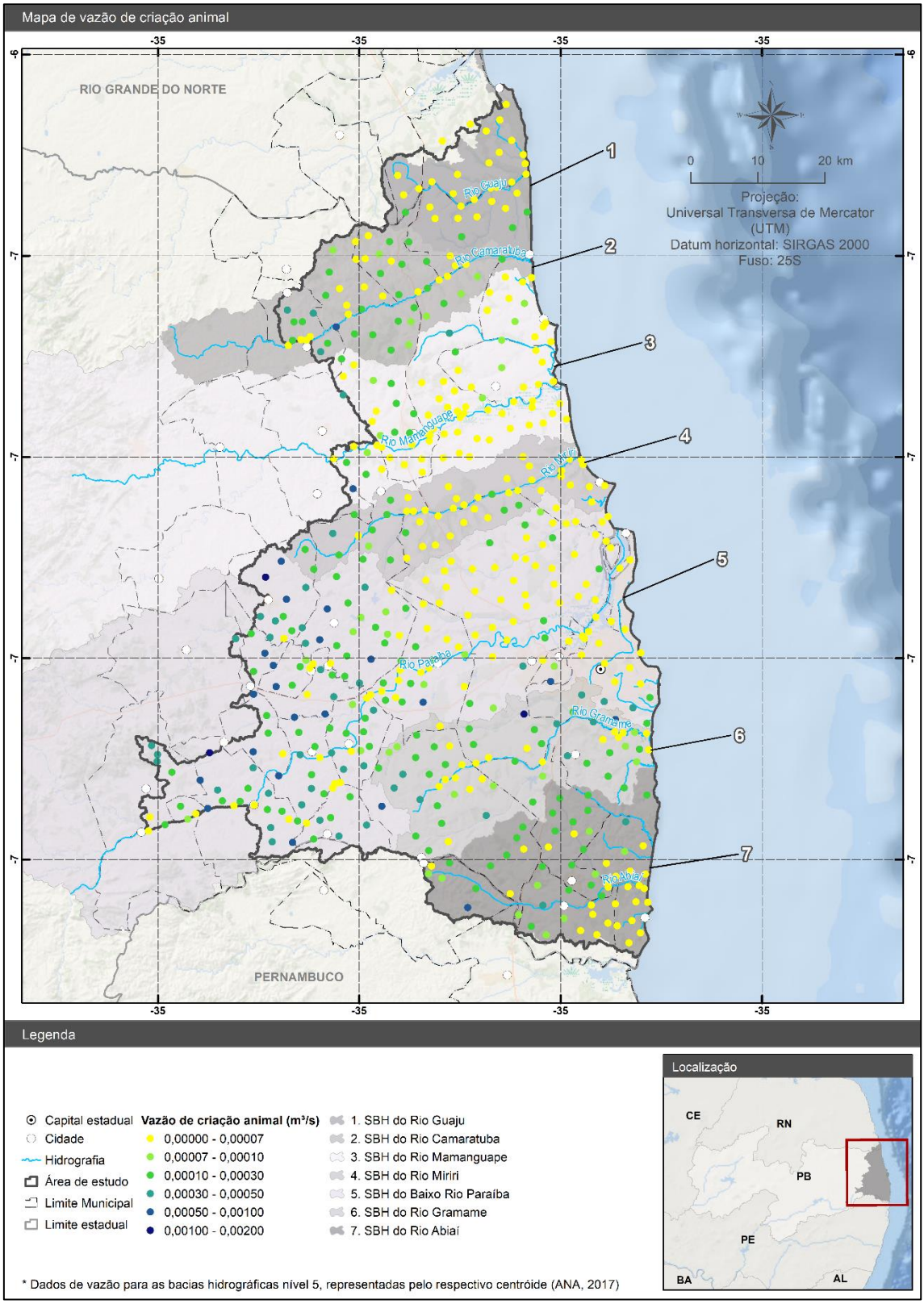


Figura 2.147 – Mapa da localização das demandas para criação animal da BD-Usos.

2.2.8.7 Mineração

Não há registros de demandas para mineração cadastrados no BD-Consolidado, e as demandas estimadas na BD-Usos são de pouca expressão, tratando-se da menor demanda da área de estudo. Como os dados da BD-Usos são estimados, eles não consideram a fonte de uso, entre superficial e subterrânea. As demandas estão praticamente todas concentradas no município de Mataraca.

Quadro 2.87 – Demandas em m³/s para mineração por município estimadas na BD-Usos.

Município	BD-Usos
Alhandra	0,001
Baía da Traição	0,000
Baía Formosa	0,001
Bayeux	0,000
Caaporã	0,001
Cabedelo	0,000
Caldas Brandão	0,000
Canguaretama	0,000
Capim	0,000
Conde	0,000
Cruz do Espírito Santo	0,000
Cuité de Mamanguape	0,000
Curral de Cima	0,000
Gurinhém	0,000
Itabaiana	0,000
Itambé	0,000
Itapororoca	0,000
Jacaraú	0,000
João Pessoa	0,001
Juripiranga	0,000
Lucena	0,000
Mamanguape	0,000
Marcação	0,000
Mari	0,000
Mataraca	0,050
Mogeiro	0,000
Pedras de Fogo	0,002
Pedro Régis	0,000
Pilar	0,000
Pitimbu	0,004
Riachão do Poço	0,000
Rio Tinto	0,000
Salgado de São Félix	0,000
Santa Rita	0,001
São José dos Ramos	0,000
São Miguel de Taipu	0,000
Sapé	0,001
Sobrado	0,000
Total	**0,063**

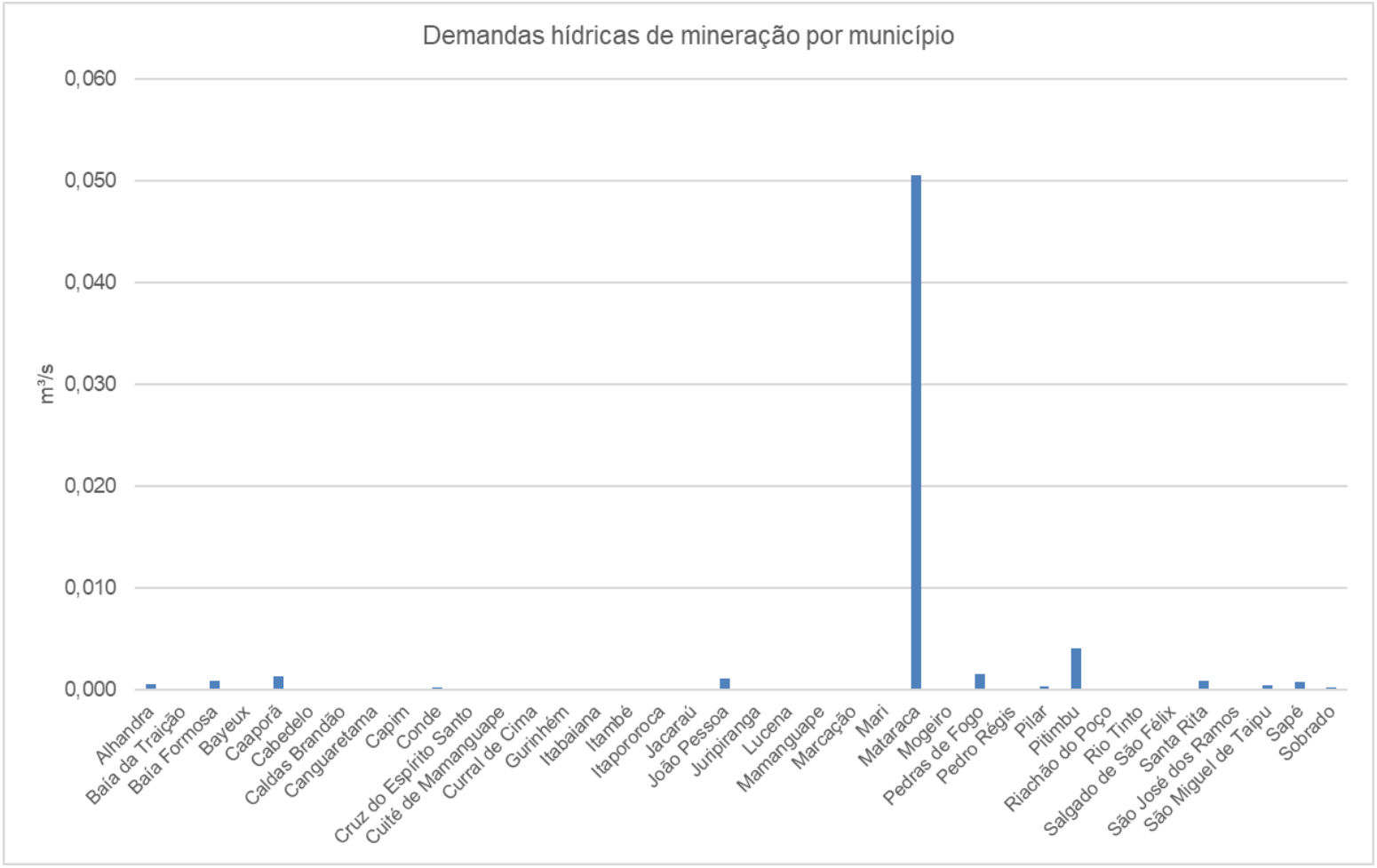


Figura 2.148 – Demandas para mineração por município na BD-Usos.

Quadro 2.88 – Demandas em m³/s para mineração por bacia hidrográfica estimadas na BD-Usos.

Bacia Hidrográfica	BD-Usos
Abiaí	0,006
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,003
Camaratuba	0,024
Gramame	0,002
Guaju	0,027
Mamanguape	0,000
Miriri	0,000
Total	**0,063**



Figura 2.149 – Demandas para mineração por bacia hidrográfica na BD-Usos.

No mapa da Figura 2.150 estão apresentadas as demandas de mineração espacializadas com base na BD-Usos. Assim como as demandas de criação animal, diferente das tipologias anteriores, a quantificação das demandas é oriunda da BD-Usos, que é uma estimativa das demandas, não baseada em um cadastro, e por isso não há discriminação entre demandas superficiais e subterrâneas. As demandas para mineração são pouco expressivas na área, o que pode ser observado pela pequena densidade de pontos de demanda. Há grande demanda concentrada em poucos pontos nas bacias do Guaju e Camaratuba, as duas bacias com maior demanda para mineração. Mamanguape e Miriri não possuem demanda, e as demais bacias valores muito baixos.

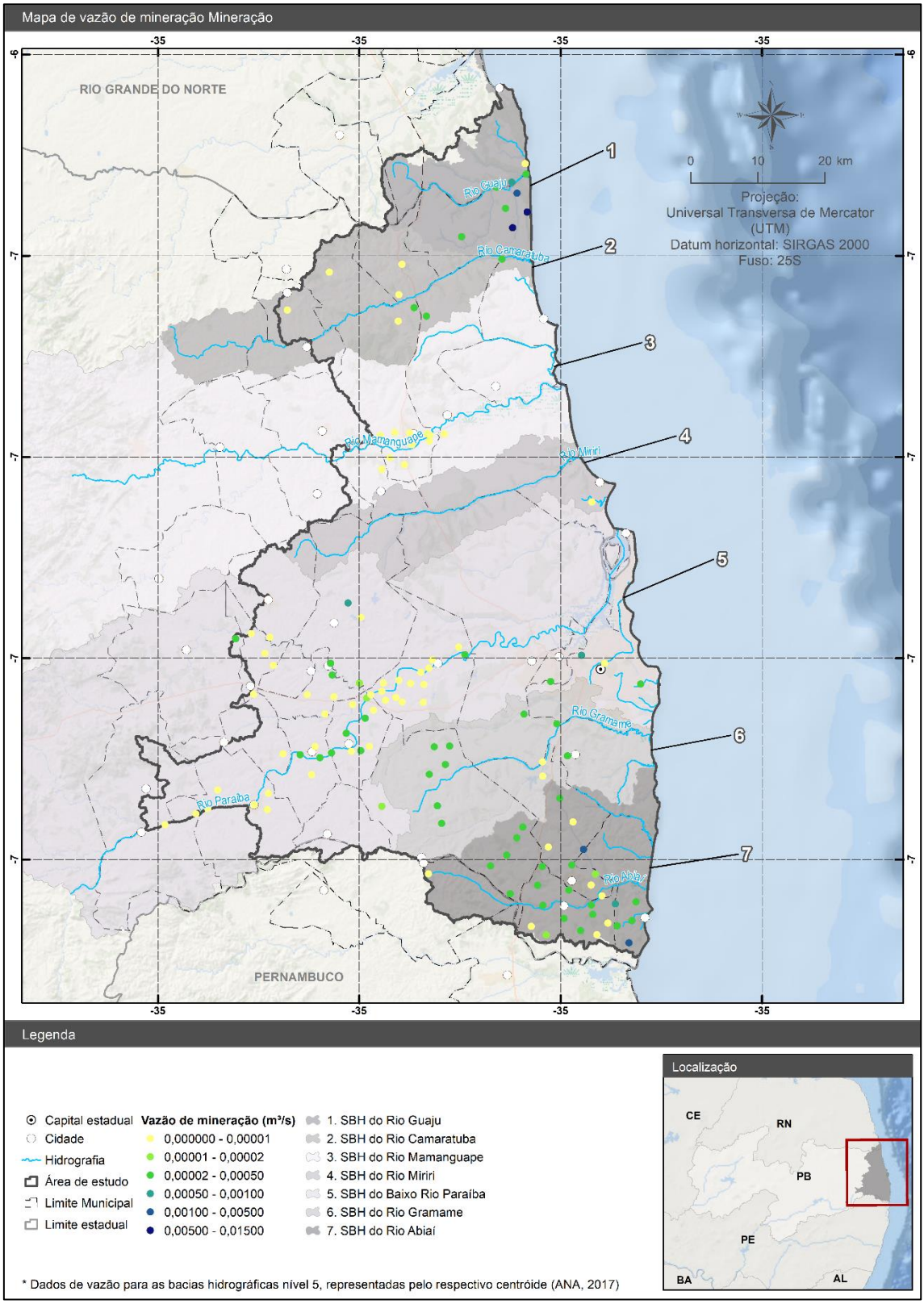


Figura 2.150 – Mapa da localização das demandas para mineração da BD-Usos.

2.2.8.8 Síntese das demandas

Conforme descrito na apresentação dos usos por tipologia, o BD-Consolidado é a base disponível que apresenta distinção entre demandas superficiais e subterrâneas. As demandas estimadas no Atlas Águas, Atlas Irrigação e na BD-Usos, justamente por serem estimadas, não fornecem essa informação.

Por isso, o BD-Consolidado figura como a base preferencial para a aquisição das informações de demanda. Exclusivamente para as demandas de criação animal e mineração foram utilizadas as informações da BD-Usos, pois este dado não existe para no BD-Consolidado. Como o BD-Usos não fornece informações de fonte de manancial superficial e subterrâneo, as demandas foram distribuídas considerando a proporção da área de estudo como um todo. Embora seja uma aproximação bem generalista, como essas duas tipologias de uso configuram demandas muito baixas, de cerca de 1% da demanda total da bacia, essa aproximação não causa prejuízos de sub ou superestimativas.

No Quadro 2.89, Quadro 2.90, Figura 2.151, Figura 2.152 e Figura 2.153 estão apresentadas as demandas totais selecionadas para compor a base oficial do estudo. No mapa da Figura 2.154 estão apresentadas as distribuições das demandas em relação à fonte superficial ou subterrânea, por município. Os municípios de Cabedelo, Bayeux e João Pessoa são os únicos que dependem mais das demandas subterrâneas do que superficiais. Isso torna a questão das dinâmicas hidrogeológicas de especial interesse nessa região, em relação ao resto da área. Estes três municípios sozinhos representam 56% da demanda subterrânea da área de estudo.

Quadro 2.89 – Síntese das demandas distribuídas por município (m³/s).

Município	Abastecimento público			Consumo humano			Irrigação			Agroindustrial			Industrial			Aquicultura			Criação animal			Mineração			Total		
	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total
Alhandra	0,543	0,018	0,561	0,001	0,002	0,003	0,395	0,006	0,401	0,000		0,000	0,000	0,013	0,013	0,009	0,000	0,009	0,002	0,000	0,003	0,001	0,000	0,001	0,951	0,039	0,990
Baía da Traição									0,000										0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Baía Formosa									0,000										0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Bayeux	0,000	0,046	0,046						0,000				0,001	0,003	0,004				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,050	0,050
Caaporã	0,583	0,002	0,586	0,000	0,003	0,003	0,361	0,001	0,362	0,041	0,000	0,041	0,000	0,003	0,003	0,046	0,000	0,046	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	1,034	0,009	1,042
Cabedelo	0,001	0,038	0,039	0,000	0,0002	0,000			0,000				0,004	0,017	0,021				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,055	0,060
Caldas Brandão							0,091	0,000	0,091							0,002	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,095	0,000	0,095
Canguaretama							0,004	0,000	0,004										0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,005
Capim						0,000	0,315	0,000	0,315							0,037	0,000	0,037	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,353	0,000	0,353
Conde	2,950	0,042	2,992	0,000	0,003	0,003	0,157	0,002	0,159				0,050	0,036	0,086				0,004	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	3,161	0,084	3,245
Cruz do Espírito Santo	0,022	0,000	0,022	0,000	0,013	0,013	0,346	0,000	0,346	0,037		0,037				0,048	0,000	0,048	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,455	0,013	0,469
Cuité de Mamanguape									0,000										0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002
Curral de Cima							0,004	0,000	0,004										0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,006
Gurinhém				0,000	0,000	0,000			0,000										0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Itabaiana				0,000	0,001	0,001			0,000				0,001	0,001	0,001	0,083	0,012	0,095	0,005	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,088	0,015	0,103
Itambé									0,000										0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Itapororoca							0,029	0,000	0,029										0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,000	0,029
Jacaraú	0,018	0,000	0,018				0,062	0,000	0,062				0,000		0,000				0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,082	0,000	0,083
João Pessoa	0,167	0,503	0,670	0,000	0,001	0,001	0,004	0,001	0,005	0,000	0,013	0,013	0,004	0,207	0,212				0,005	0,001	0,006	0,001	0,000	0,001	0,182	0,726	0,908
Juripiranga							0,075	0,000	0,075							0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,078	0,000	0,078
Lucena	0,000	0,008	0,008				0,572	0,064	0,636	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,008	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,578	0,085	0,663
Mamanguape	0,056	0,003	0,060	0,002	0,002	0,003	0,852	0,004	0,856	0,241	0,002	0,243	0,000	0,001	0,001	0,033	0,000	0,033	0,005	0,001	0,005	0,000	0,000	0,000	1,189	0,012	1,201
Marcação									0,000										0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mari				0,000	0,001	0,001	0,125	0,003	0,128				0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,006	0,007	0,001	0,008	0,000	0,000	0,000	0,138	0,005	0,143
Mataraca				0,000	0,001	0,001	0,211	0,002	0,214										0,002	0,000	0,002	0,046	0,005	0,050	0,259	0,008	0,267
Mogeiro				0,000	0,0002	0,000	0,001	0,000	0,001				0,000	0,001	0,001	0,066	0,002	0,068	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,068	0,003	0,071
Pedras de Fogo	0,039	0,006	0,045	0,007	0,006	0,013	0,636	0,003	0,639	0,038	0,002	0,040	0,058	0,012	0,070	0,000	0,003	0,003	0,008	0,001	0,009	0,001	0,000	0,002	0,788	0,033	0,821
Pedro Régis									0,000										0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Pilar				0,000	0,0004	0,000	0,007	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000				0,200	0,000	0,200	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,210	0,001	0,211
Pitimbu	0,000	0,015	0,015	0,000	0,002	0,002	0,071	0,003	0,074				0,000	0,022	0,022				0,001	0,000	0,001	0,004	0,000	0,004	0,076	0,042	0,118
Riachão do Poço				0,000	0,003	0,003	0,000	0,001	0,001				0,000	0,002	0,002	0,042	0,000	0,042	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,043	0,007	0,050
Rio Tinto	0,046	0,000	0,046	0,000	0,002	0,002	0,820	0,112	0,932	0,214	0,000	0,214				0,002	0,000	0,002	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	1,083	0,116	1,199
Salgado de São Félix							0,000	0,000	0,000							0,025	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000	0,026
Santa Rita	0,356	0,073	0,429	0,001	0,005	0,006	1,126	0,046	1,173	0,189	0,001	0,190	0,110	0,012	0,122	0,039	0,000	0,039	0,007	0,001	0,008	0,001	0,000	0,001	1,830	0,138	1,968
São José dos Ramos				0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000							0,003	0,000	0,003	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,007
São Miguel de Taipu	0,000	0,003	0,003	0,000	0,006	0,006	0,002	0,001	0,003							0,129	0,011	0,141	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,135	0,023	0,157
Sapé	0,173	0,000	0,173	0,000	0,001	0,001	0,605	0,007	0,612	0,018	0,000	0,019	0,004	0,001	0,004	0,033	0,000	0,033	0,006	0,001	0,007	0,001	0,000	0,001	0,840	0,009	0,849
Sobrado				0,000	0,001	0,001	0,043	0,005	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005	0,006	0,000	0,006	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,050	0,011	0,061
Total	**4,954**	**0,759**	**5,713**	**0,011**	**0,055**	**0,067**	**6,915**	**0,261**	**7,177**	**0,778**	**0,029**	**0,807**	**0,231**	**0,336**	**0,567**	**0,814**	**0,031**	**0,845**	**0,088**	**0,009**	**0,097**	**0,057**	**0,006**	**0,063**	**13,848**	**1,487**	**15,335**

Fonte: BD-Consolidado: Abastecimento Público, Consumo Humano, Irrigação, Agroindustrial, Industrial, Aquicultura.
BD-Usos: Criação animal, Mineração.

Quadro 2.90 – Síntese das demandas distribuídas por bacia hidrográfica (m³/s).

Bacia Hidrográfica	Abastecimento público			Consumo humano			Irrigação			Agroindustrial			Industrial			Aquicultura			Criação animal			Mineração			Total		
	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total	Sup	Sub	Total
Abiaí	1,126	0,048	1,175	0,001	0,008	0,008	1,042	0,011	1,053	0,041	0,003	0,044		0,046	0,046	0,052		0,052	0,007	0,001	0,008	0,006	0,001	0,006	2,224	0,169	2,393
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,718	0,633	1,351	0,001	0,035	0,035	2,304	0,061	2,365	0,226	0,020	0,246	0,009	0,093	0,102	0,662	0,026	0,688	0,042	0,004	0,046	0,003	0,000	0,003	3,429	1,407	4,836
Camaratuba	0,018	0,000	0,018	0,002	0,002	0,004	0,400	0,006	0,406	0,214	0,002	0,215			0,000	0,022		0,022	0,008	0,001	0,008	0,022	0,002	0,024	0,664	0,035	0,699
Gramame	2,989	0,066	3,055	0,007	0,008	0,015	0,819	0,007	0,826	0,038	0,005	0,043	0,111	0,195	0,306	0,015	0,003	0,017	0,015	0,002	0,017	0,002	0,000	0,002	3,985	0,297	4,282
Guaju			0,000		0,001	0,001	0,181		0,181	0		0			0,000	0,000		0,000	0,002	0,000	0,002	0,024	0,003	0,027	0,207	0,004	0,210
Mamanguape	0,102	0,004	0,106	0,000	0,002	0,002	0,832	0,019	0,851	0,241	0,000	0,241		0,001	0,001	0,050		0,050	0,008	0,001	0,008	0,000	0,000	0,000	1,183	0,076	1,259
Miriri		0,008	0,008		0,001	0,001	1,336	0,158	1,494	0,018		0,018	0,111	0,001	0,111	0,013	0,003	0,016	0,006	0,001	0,007	0,000	0,000	0,000	1,488	0,168	1,656
Total	**4,954**	**0,759**	**5,713**	**0,011**	**0,055**	**0,066**	**6,915**	**0,261**	**7,177**	**0,778**	**0,029**	**0,808**	**0,231**	**0,336**	**0,567**	**0,814**	**0,031**	**0,845**	**0,088**	**0,009**	**0,097**	**0,057**	**0,006**	**0,063**	**13,180**	**2,155**	**15,334**

Fonte: BD-Consolidado: Abastecimento Público, Consumo Humano, Irrigação, Agroindustrial, Industrial, Aquicultura.
BD-Usos: Criação animal, Mineração.

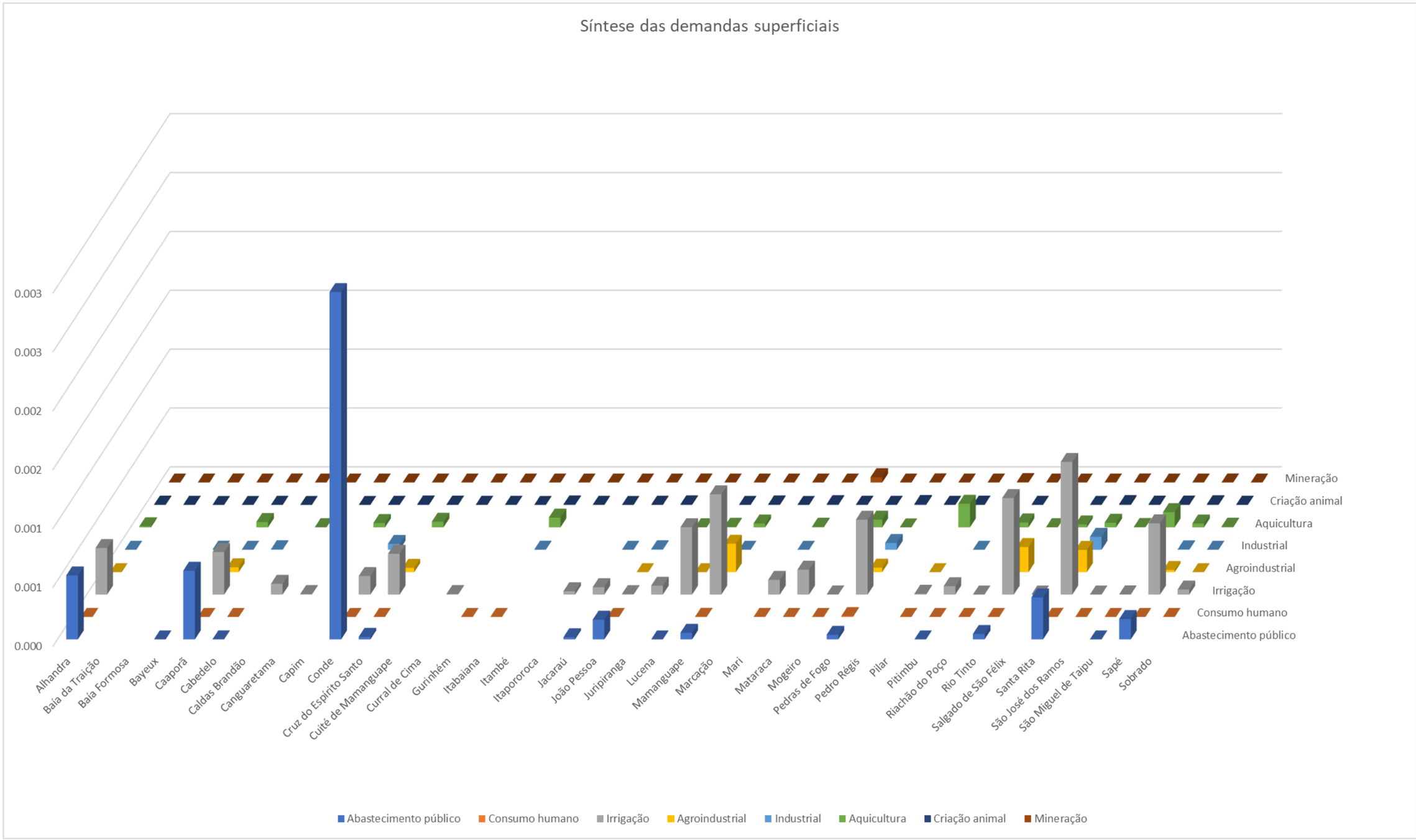


Figura 2.151 – Síntese das demandas superficiais por município (m³/s).

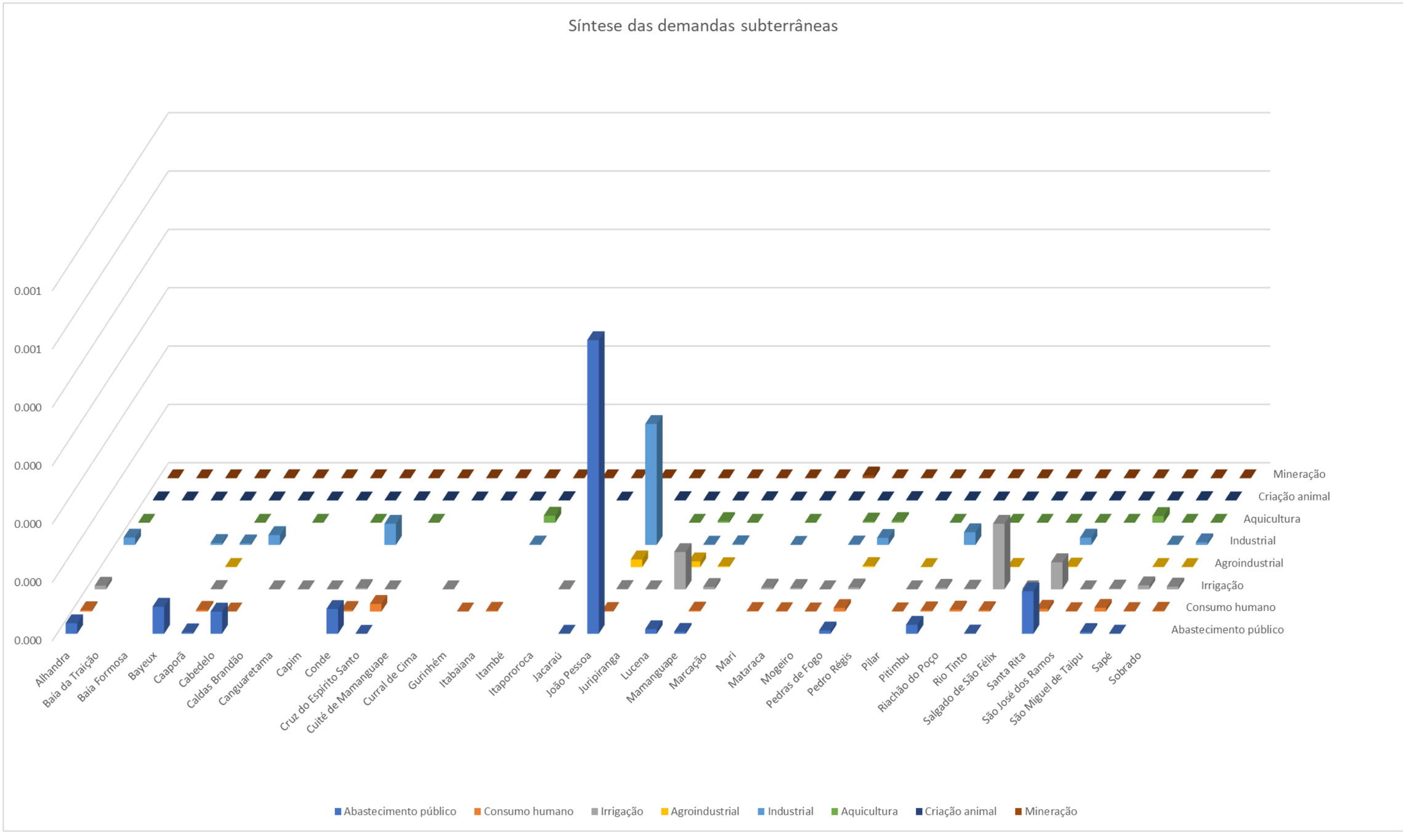


Figura 2.152 – Síntese das demandas subterrâneas por município (m³/s).

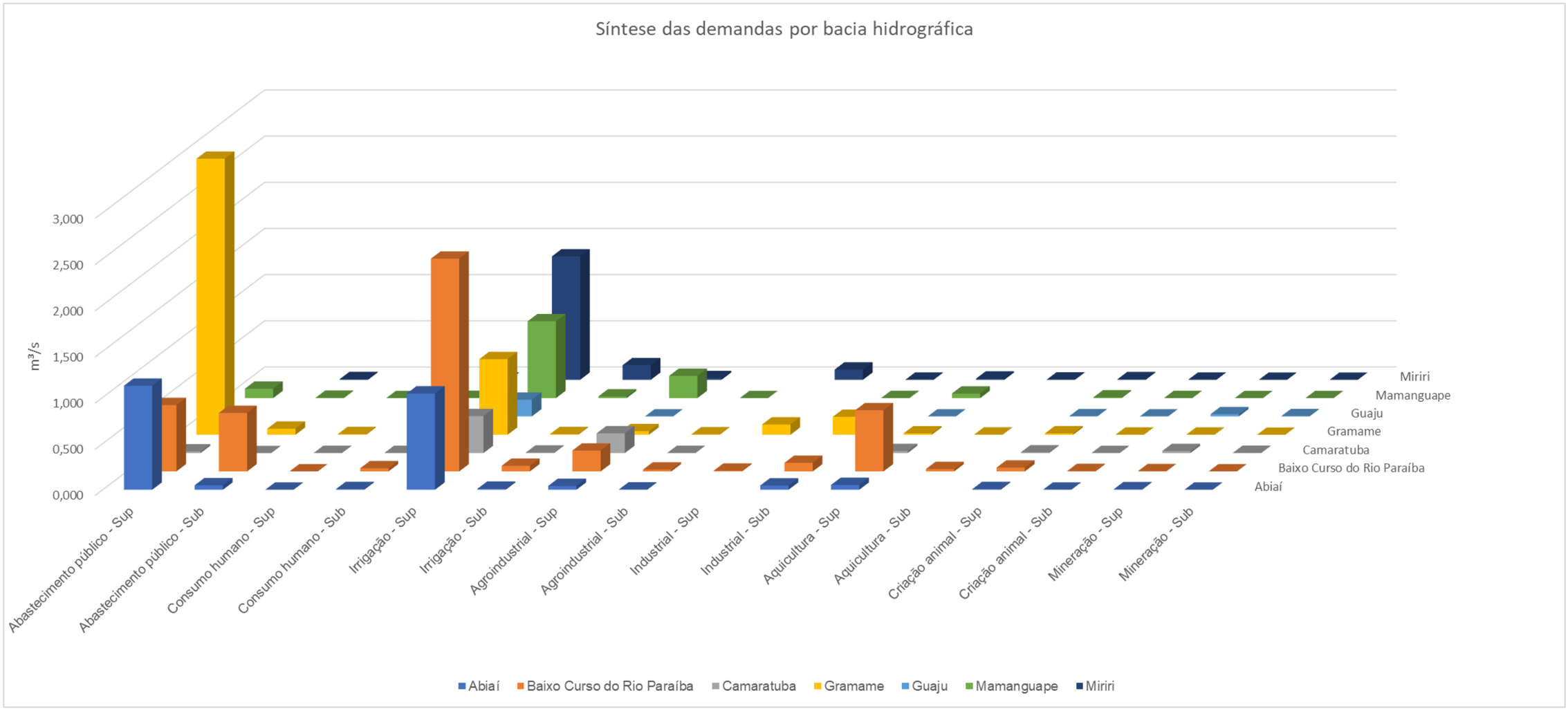


Figura 2.153 – Síntese das demandas por bacia hidrográfica.

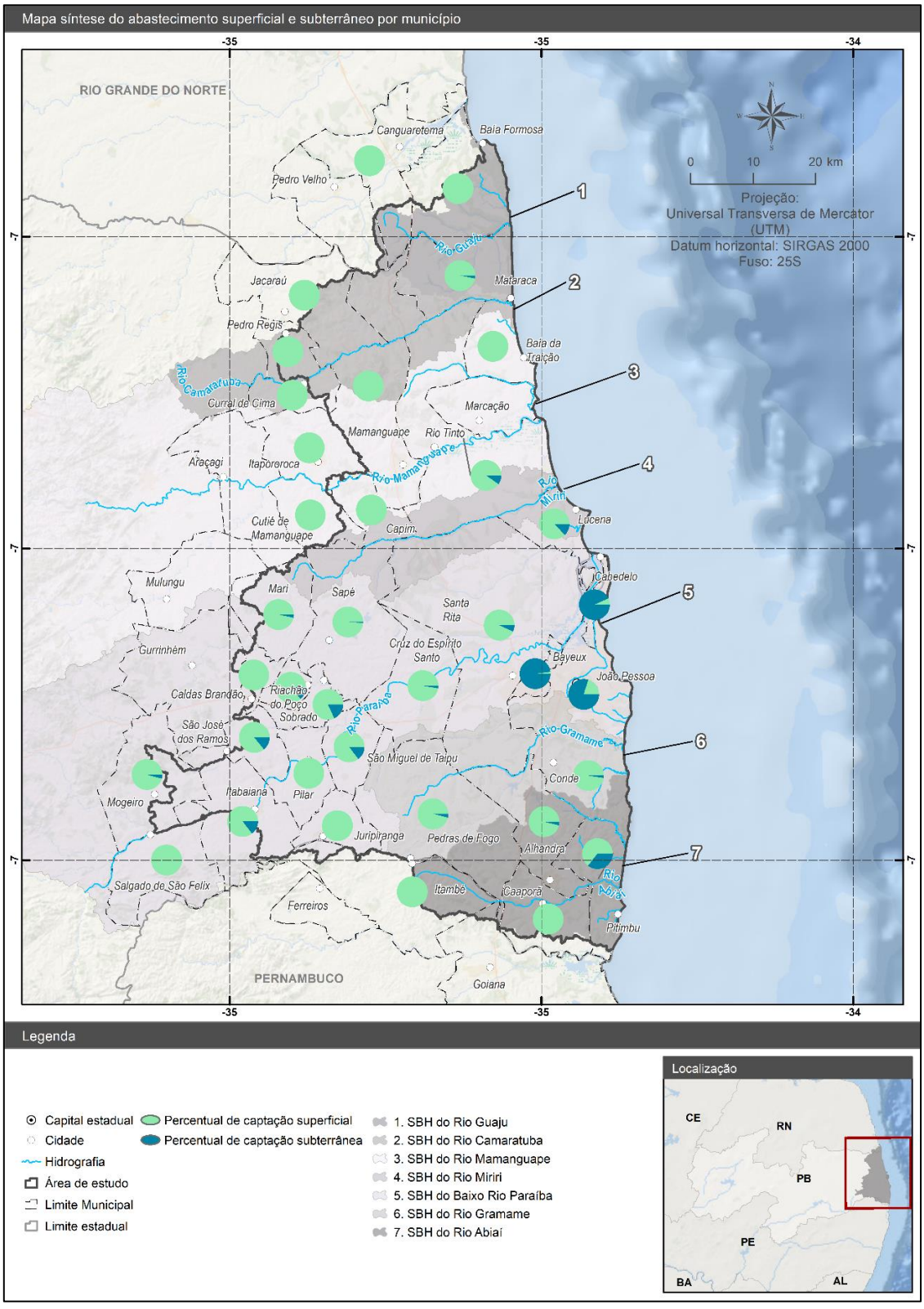


Figura 2.154 – Mapa da localização das demandas totais distribuídas em superficial e subterrânea.

2.2.8.9 Demandas subterrâneas

Conforme já mencionado, é de especial interesse para este estudo a parcela de captação exclusivamente subterrânea das demandas hídricas. Embora menos expressivas que as demandas superficiais, os efeitos dessa extração podem existir, dependendo de fatores como a disponibilidade subterrânea, e variam dependendo da profundidade da captação. Eis alguns dos efeitos:

- Captação em aquíferos rasos (freáticos):
    - Redução do nível freático: O uso excessivo pode resultar na diminuição do nível da água, exigindo a perfuração de poços cada vez mais profundos para acessar a água.
    - Interferência nos ecossistemas de superfície: A redução do nível freático pode afetar zonas úmidas, riachos e outros ecossistemas que dependem da proximidade do lençol freático.
    - Degradação da qualidade da água: A captação próxima à superfície pode facilitar a contaminação da água por atividades antrópicas, como agricultura e indústria, já que os contaminantes presentes na superfície têm menor distância para percorrer até alcançar o aquífero.
- Captação em aquíferos profundos (confinados):
    - Compactação e subsidência: A remoção da água pode causar a compactação do solo acima do aquífero, o que pode levar a um fenômeno chamado subsidência, onde a superfície do terreno afunda. Este é um problema particularmente grave em algumas áreas urbanas ao redor do mundo.
    - Diminuição do armazenamento: Aquíferos profundos geralmente têm taxas de recarga mais lentas que os aquíferos rasos. A extração contínua pode resultar em esgotamento a longo prazo.
    - Mistura de águas de diferentes qualidades: A extração excessiva pode induzir o fluxo de água de outras partes do aquífero, ou mesmo de outros aquíferos, o que pode alterar a qualidade da água.
    - Alterações nas pressões interaquíferas: Em regiões onde existem múltiplos aquíferos sobrepostos em diferentes profundidades, a extração de um pode afetar o equilíbrio hídrico dos outros, conduzindo a

movimentos de água entre eles.

- Salinização: Em áreas costeiras, a extração excessiva de água doce pode facilitar a intrusão de água salgada, tornando o aquífero salinizado e, portanto, inutilizável para muitos propósitos.

Para os poços que possuem essa informação no BD-Consolidado, as demandas foram agrupadas em faixas de profundidade, apresentadas no Quadro 2.91.

Quadro 2.91 – Demandas por faixa de profundidade das captações (m³/s).

Bacia hidrográfica	0 a 10 (m)	10 a 25 (m)	25 a 50 (m)	50 a 75 (m)	75 a 100 (m)	100 a 200 (m)	200 a 500 (m)	S/I	Total
Abiaí	0,002	0,001	0,009	0,008	0,005	0,046	0,014	0,031	0,115
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,002	0,047	0,203	0,081	0,014	0,211	0,055	0,254	0,867
Camaratuba		0,001	0,001	0,002	0,000	0,003		0,003	0,010
Gramame	0,000	0,012	0,077	0,023	0,022	0,106	0,029	0,014	0,283
Guaju				0,001					0,001
Mamanguape	0,001	0,000	0,003	0,002	0,000	0,007	0,012		0,026
Miriri		0,001	0,001	0,001		0,014	0,078	0,075	0,170
Total	**0,006**	**0,061**	**0,294**	**0,119**	**0,041**	**0,387**	**0,188**	**0,376**	**1,472**

S/I: Sem informação.

As demandas exclusivamente subterrâneas estão apresentadas no Quadro 2.92 por município e no Quadro 2.93 por bacia hidrográfica. No mapa da Figura 2.155 estão apresentadas as demandas subterrâneas totais por município. Fica claro que a demanda subterrânea se concentra principalmente em João Pessoa e seus arredores, e diminui progressivamente com a distância da capital.

Quadro 2.92 – Demandas subterrâneas por município (m³/s).

Município	Abastecimento público	Consumo humano	Irrigação	Agroindustrial	Industrial	Aquicultura	Criação animal	Mineração	Total
Alhandra	0,018	0,002	0,006		0,013	0,000	0,000	0,000	0,039
Baía da Traição							0,000	0,000	0,000
Baía Formosa							0,000	0,000	0,000
Bayeux	0,046				0,003		0,000	0,000	0,050
Caaporã	0,002	0,003	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,009
Cabedelo	0,038	0,0002			0,017		0,000	0,000	0,055
Caldas Brandão			0,000			0,000	0,000	0,000	0,000
Canguaretama			0,000				0,000	0,000	0,000
Capim			0,000			0,000	0,000	0,000	0,000
Conde	0,042	0,003	0,002		0,036		0,000	0,000	0,084
Cruz do Espírito Santo	0,000	0,013	0,000			0,000	0,000	0,000	0,013
Cuité de Mamanguape							0,000	0,000	0,000
Curral de Cima			0,000				0,000	0,000	0,000
Gurinhém		0,000					0,000	0,000	0,000
Itabaiana		0,001			0,001	0,012	0,000	0,000	0,015
Itambé							0,000	0,000	0,000
Itapororoca			0,000				0,000	0,000	0,000
Jacaraú	0,000		0,000				0,000	0,000	0,000
João Pessoa	0,503	0,001	0,001	0,013	0,207		0,001	0,000	0,726
Juripiranga			0,000			0,000	0,000	0,000	0,000
Lucena	0,008		0,064	0,010	0,000	0,003	0,000	0,000	0,085
Mamanguape	0,003	0,002	0,004	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,012
Marcação							0,000	0,000	0,000
Mari		0,001	0,003		0,000	0,000	0,001	0,000	0,005
Mataraca		0,001	0,002				0,000	0,005	0,008
Mogeiro		0,0002	0,000		0,001	0,002	0,000	0,000	0,003
Pedras de Fogo	0,006	0,006	0,003	0,002	0,012	0,003	0,001	0,000	0,033
Pedro Régis							0,000	0,000	0,000

Município	Abastecimento público	Consumo humano	Irrigação	Agroindustrial	Industrial	Aquicultura	Criação animal	Mineração	Total
Pilar		0,0004	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,001
Pitimbu	0,015	0,002	0,003		0,022		0,000	0,000	0,042
Riachão do Poço		0,003	0,001		0,002	0,000	0,000	0,000	0,007
Rio Tinto	0,000	0,002	0,112	0,000		0,000	0,000	0,000	0,116
Salgado de São Félix			0,000			0,000	0,000	0,000	0,000
Santa Rita	0,073	0,005	0,046	0,001	0,012	0,000	0,001	0,000	0,138
São José dos Ramos		0,001	0,000			0,000	0,000	0,000	0,001
São Miguel de Taipu	0,003	0,006	0,001			0,011	0,000	0,000	0,023
Sapé	0,000	0,001	0,007	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,009
Sobrado		0,001	0,005	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,011
Total	**0,759**	**0,055**	**0,261**	**0,029**	**0,336**	**0,031**	**0,009**	**0,006**	**1,487**

Quadro 2.93 – Demandas subterrâneas por bacia hidrográfica (m³/s).

Bacia Hidrográfica	Abastecimento público	Consumo humano	Irrigação	Agroindústria	Indústria	Aquicultura	Criação animal	Mineração	Total
Abiaí	0,048	0,008	0,011	0,003	0,046		0,001	0,001	0,117
Baixo Curso do Rio Paraíba	0,633	0,035	0,061	0,020	0,093	0,026	0,004	0,000	0,872
Camaratuba	0,000	0,002	0,006	0,002			0,001	0,002	0,013
Gramame	0,066	0,008	0,007	0,005	0,195	0,003	0,002	0,000	0,285
Guaju		0,001					0,000	0,003	0,004
Mamanguape	0,004	0,002	0,019	0,000	0,001		0,001	0,000	0,027
Miriri	0,008	0,001	0,158		0,001	0,003	0,001	0,000	0,170
Total	**0,759**	**0,055**	**0,261**	**0,029**	**0,336**	**0,031**	**0,009**	**0,006**	**1,487**

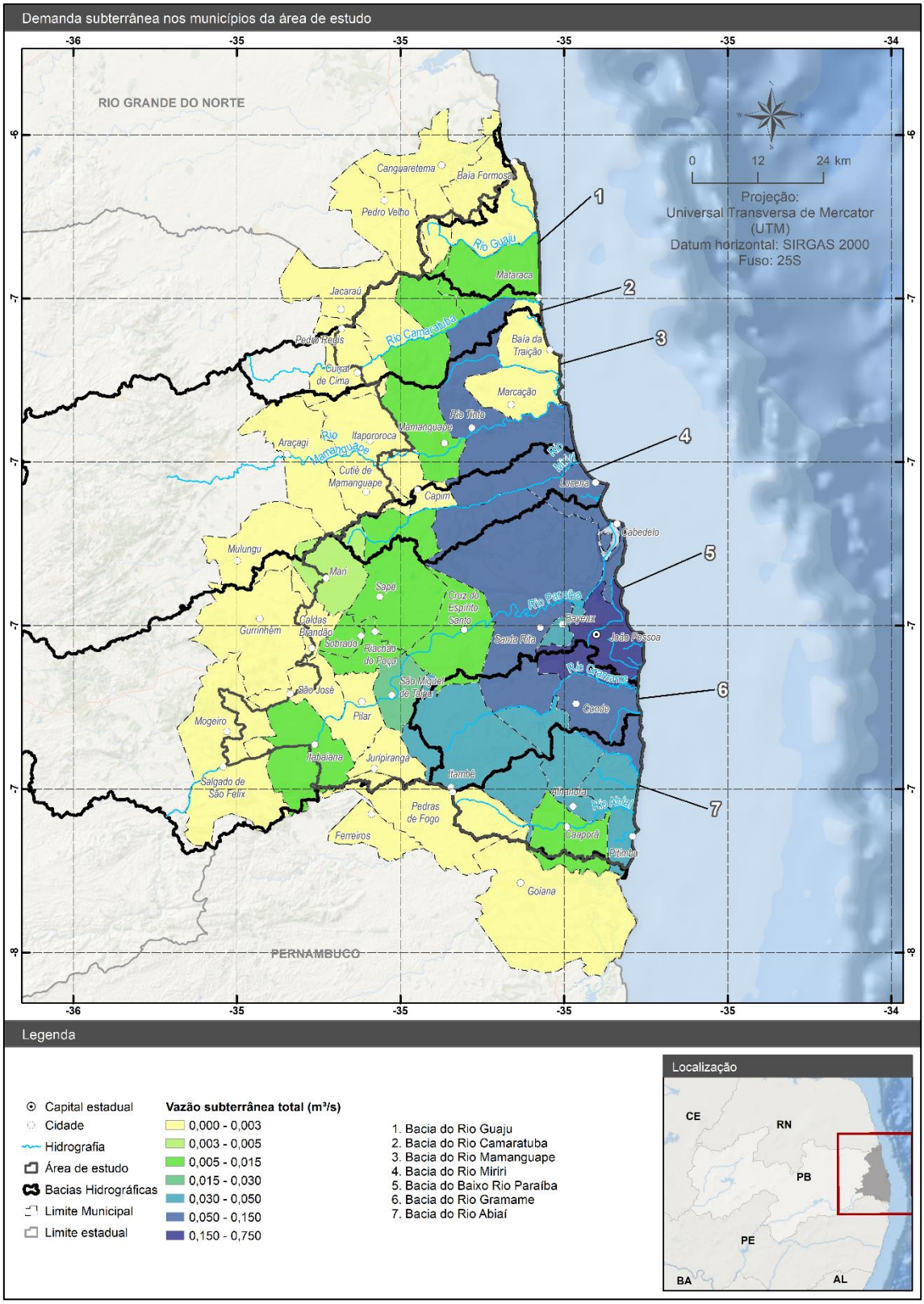


Figura 2.155 – Mapa da localização das demandas subterrâneas por município.

2.3 OBSERVAÇÕES FINAIS DO DIAGNÓSTICO

A Bacia Paraíba está localizada na margem leste da Província Borborema e abrange a faixa sedimentar costeira que se estende desde o Lineamento Pernambuco, nas proximidades da cidade de Recife, até o Alto Estrutural de Mamanguape, ao norte de João Pessoa. É subdividida em três sub-bacias: Olinda, Alhandra e Miriri.

Em relação à estratigrafia, bioestratigrafia e ao arcabouço estrutural da Bacia Paraíba em seus diferentes compartimentos, ainda persistem algumas incertezas. Isto porque, apesar de ser composta por uma sucessão simples de depósitos continentais, transicionais e marinhos, não existem informações detalhadas sobre o arcabouço estrutural desses depósitos e de seus estratos mais profundos. Seu preenchimento compreende sequencias que envolvem um ciclo de subsidência mais intenso, representado pelos sedimentos clásticos da Formação Beberibe; uma sequência transgressiva, constituída pelos clásticos da Formação Itamaracá e os calcários e sedimentos fosfáticos da Formação Gramame; e uma sequência sobreposta final da Formação Barreiras, na qual se desenvolveram os sedimentos aluviais. Essas sequências teriam sido tectonicamente afetadas do Neógeno ao Quaternário, no entanto, sua constatação em campo nem sempre é ratificada.

Relativamente aos gradientes topográficos, a área de estudo está situada entre o nível do mar na extremidade da linha litorânea do Estado da Paraíba e, para além do limite ocidental da área de estudo, a sinuosa linha base das escarpas orientais do Planalto da Borborema. O maciço elevado a mais de 600/700 m de altitude, com elevações interiores que se aproximam dos 1.000 m, exerce imponente barreira orográfica às correntes atmosféricas úmidas do litoral para o interior do estado. Tais barreiras induzem um regime precipitações no local com valores anuais entre aproximadamente 700 mm e 1800 mm, esses volumes são os responsáveis pelos eventos de recarga subterrânea do SAPP quando ocorre a saturação do solo nas áreas favoráveis a ocorrência de recarga.

As principais faixas altimétricas estão situadas entre os 30 m de altitude, nas superfícies dos tabuleiros da faixa litorânea, e 250 m de altitude ao longo dos interflúvios tabulares entre as principais bacias hidrográficas da região. Destacam-se, pela extensão das áreas que ocupam, os terrenos situados abaixo de 50 m de altitude, que penetram pelo

interior da zona costeira e correspondem aos fundos de vales abertos e de fundo chato, às planícies fluviais de inundação, planícies aluvionares e baixos terraços, planícies fluviomarinhas e dunas, zonas estuarinas, barras, falésias e praias, em estreita faixa litorânea. As baixas declividades do relevo da área de estudo permitem que os eventos de precipitação saturem o solo, favorecendo a ocorrência de recarga subterrânea. frente à geração de escoamento superficial direto para as drenagens locais. Somado a isso, a predominância de solos dos Grupos A e B (alto e moderado coeficiente de infiltração, respectivamente) favorece eventos episódicos de recarga subterrânea.

Localizado na microrregião da zona da Mata Paraibana, essa região exibe características geoclimáticas distintas, que podem ser facilmente reconhecidas a partir das características topográficas da bacia sedimentar costeira e de sua localização em relação ao Planalto da Borborema, justificando, assim, sua diferenciação em relação ao restante do estado da Paraíba. O período chuvoso ocorre entre os meses de março e agosto e o período seco entre os meses de setembro e fevereiro. Durante os meses de março a agosto, as precipitações são mais frequentes e intensas, sendo junho o mês em que ocorrem os maiores índices pluviométricos. A resposta dos níveis de água dos aquíferos aos meses chuvosos é claramente perceptível nos dados de monitoramento de nível estático.

As bacias drenantes para a zona litorânea, onde se encontram os depósitos sedimentares do SAPP e que perpassam a área de estudo são um total de sete, das quais as vazões subterrâneas específicas são baixas (máximo de 0,87 L/s.km² para 86% das estações avaliadas). A bacia do rio Guaju apresenta os maiores valores de vazões específicas, indicando uma maior capacidade de produção de escoamento por unidade de área nessa bacia, porém esta ocupa parte pequena da área estudada. Já a sub-bacia do rio Paraíba, que contempla uma área maior, apresentou baixas vazões específicas, indicando uma baixa capacidade de produção de escoamento da bacia. As vazões específicas subterrâneas são um importante indicador da capacidade de determinada bacia hidrográfica em regularizar as vazões. Apesar de a maior parte das estações fluviométricas indicarem a ocorrência de rios intermitentes na região, o aumento dos níveis na estação chuvosa permite que a água infiltrada seja lentamente devolvida aos rios, permitindo maior disponibilidade temporal para os múltiplos usos existentes na bacia. Essa delicada relação entre o nível de água dos aquíferos e a cota do leito dos rios é tema central da gestão sustentável dos recursos hídricos

subterrâneos. O uso excessivo das águas subterrâneas acima da capacidade de recuperação sazonal das reservas pode acarretar reduções permanentes nos níveis afetando de forma direta a permanência das vazões nos rios. Ainda, quando se observa o papel da descarga subterrânea nas vazões totais dos rios monitorados, percebe-se que a maior parte da água tem origem subterrânea, atingindo até 82% da vazão total.

O monitoramento dos recursos hídricos superficiais, por meio da análise do escoamento de base, é ferramenta fundamental no monitoramento das descargas dos aquíferos. Os resultados obtidos no presente diagnóstico mostram claramente anos secos (menor recarga sazonal) com fluxos de base reduzidos ou nulos (com destaque para os anos posteriores a 2015) quando comparados a anos mais úmidos (maior ocorrência de recarga sazonal), claramente trazendo à tona a delicada relação entre aquífero e rio. Séries históricas levantadas, como as observadas no piezômetro 2600008444 da rede RIMAS, mostram claramente a tendência de longo prazo nos níveis aquíferos na qual o uso inadequado do recurso pode agravar. O diagnóstico mostra a lacuna existente no monitoramento do quantitativo do SAPP, onde somente algumas poucas séries de dados permitem que as tendências de longo prazo sejam avaliadas, tais tendências são fundamentais na compreensão da disponibilidade hídrica da região.

Em relação aos usos e ocupação do solo no SAPP, a agropecuária compõe o percentual mais expressivo, e quando somadas às áreas edificadas, compõem o percentual de 67,88% da área de estudo ocupada por usos antrópicos. As áreas naturais (compostas por vegetação florestal, campestre e herbácea e áreas úmidas) correspondem a 29,67% da área total, majoritariamente caracterizadas por vegetação florestal. Os corpos d'água, tanto de origem natural como artificiais, ocorrem em 2,18% da área de estudo. As áreas de solo exposto de origem natural ou antrópica representam o percentual menos expressivo (0,27%). Tal dinâmica de uso e ocupação do solo destaca a importância do monitoramento da qualidade das águas do SAPP, uma vez que a intensa atividade agropecuária da região pode comprometer a qualidade dessas reservas.

A maior parte da população residente na área de estudo concentra-se na região litorânea principalmente na capital, João Pessoa, sendo esta região também a que possui o maior IDH. São os municípios litorâneos também os que concentram o maior PIB per capita, Alhandra e Pedro Régis, ficando a capital atrás destes dois. Em relação ao índice que mede a qualidade da gestão municipal (IGMA), apenas quatro municípios

da área de estudo foram classificados como “em desenvolvimento”, os demais foram definidos como em situação crítica. Essas áreas de maior ocupação pela população são prioritárias no planejamento das redes de monitoramento das águas subterrâneas, em especial quando associados a áreas aquíferas mais vulneráveis. Estas informações levantadas são fundamentais na delimitação das zonas e subzonas de gerenciamento do presente estudo.

Em relação aos usos das águas subterrâneas, os municípios de Cabedelo, Bayeux e João Pessoa dependem substancialmente dos recursos hídricos subterrâneos. Isso torna a questão das dinâmicas hidrogeológicas de especial interesse nessa região, em relação ao resto da área. Estes três municípios sozinhos representam 56% da demanda subterrânea da área de estudo. Apesar disso, os mananciais subterrâneos e superficiais interagem de forma direta e contínua, e mesmo nos locais que não dependem exclusivamente das retiradas subterrâneas, o uso excessivo dessas reservas poderá afetar diretamente a disponibilidade superficial dessas áreas, uma vez que a descarga aquífera é bastante sensível a ocorrência de períodos secos, como exposto no presente diagnóstico. As diretrizes e critérios técnicos para outorgas propostas neste projeto levam em conta essa delicada relação entre esses mananciais.

Os reservatórios subterrâneos componentes do SAPP integram as unidades hidroestratigráficas Beberibe, Gramame, Barreiras e Coberturas Sedimentares, identificadas pelos mesmos nomes atribuídos às unidades litoestratigráficas que os encerram. As Coberturas Sedimentares reúnem os depósitos aluvionares, sedimentos de praias, dunas e coberturas colúvio-eluviais e têm expressão hidrogeológica secundária e acessória, assim como os calcários da formação Gramame, considerados como um aquitardo por diversos autores. As demais unidades hidroestratigráficas constituem aquíferos importantes no contexto hidrogeológico da região costeira, principalmente a Beberibe e a Barreiras.

A partir dos dados de poços profundos e dos dados de sondagens geoelétricas, foi gerado o contorno estrutural do embasamento da Bacia do Paraíba. O mapa gerado neste diagnóstico mostra variações de cota entre -450 m e 250 m. As espessuras totais do SAPP mostram tendência de aumento do interior ao sentido do litoral, onde podem superar os 500 m.

Para determinação da potenciometria da área de estudo foram utilizados dados de níveis estáticos obtidos num mesmo período, todavia, em poços com diferentes profundidades e em diferentes condições – livres a semiconfinadas/confinadas. Para realizar a separação entre poços livres e confinados, foram aplicadas técnicas de correlação entre a altitude e nível da água, pois como a superfície potenciométrica dos aquíferos superficiais é controlada pela altitude do terreno, esses dados mostram uma correlação aproximadamente linear. A partir dos poços então determinados como aquíferos livres, foi elaborado o mapa potenciométrico.

O mapa elaborado para representar a espessura saturada do SAPP foi o resultado da subtração dos grids do mapa potenciométrico e do contorno estrutural e mostrou um incremento acentuado das espessuras saturadas em direção à costa, a partir dos limites próximos ao embasamento aflorante, refletindo um controle estrutural na sua distribuição, segundo falhamentos sugeridos por Costa *et al.* (2007). O volume rochoso saturado calculado por geoprocessamento foi de 782 km³ e a espessura média saturada do SAPP foi calculada em 187 m. Em relação às reservas e disponibilidades hídricas subterrâneas, os valores obtidos são apresentados no Quadro 2.94.

Quadro 2.94 – Resumo dos resultados de disponibilidade e reservas do SAPP.

Disponibilidades das reservas renováveis (km³/ano)	0,39
Disponibilidades das reservas permanentes (km³/ano)	0,16
Disponibilidades das reservas totais (km³/ano)	0,55
Reservas permanentes (km³)	78,18
Reserva reguladora (km³/ano)	0,78
Reservas totais (km³)	78,96

Sendo recarga a quantidade de água que entra na zona saturada do solo, sua avaliação é crucial para a gestão dos recursos hídricos. A maior parte desse recurso hídrico compõe a reserva renovável e a parte menor alcança os reservatórios subterrâneos profundos. Para o SAPP, a partir de uma revisão bibliográfica sobre o tema na área, a recarga foi considerada como 13% da precipitação média anual, resultando em um valor de 0,78 km³/ano. O SAPP engloba unidades hidroestratigráficas diversas, podendo resultar em situações de confinamento parcial ou local, como previamente identificado por autores como Costa *et al.* (2007), AESA (2022), ASUB (2009) e Abels *et al.* (2017). A região sob confinamento que compõe o subsistema confinado é situada no Bloco Estrutural João Pessoa-Pitimbu.

3 MODELO CONCEITUAL

Este capítulo refere-se à atividade de “Elaboração do modelo conceitual hidrogeológico do SAPP”. Este modelo conceitual hidrogeológico foi baseado nas informações obtidas a partir das atividades de diagnóstico e em visitas a campo para consolidação do conhecimento sobre o sistema aquífero. Este item descreve o comportamento do sistema de fluxo subterrâneo do SAPP e identifica os elementos condicionantes desse movimento a partir da consolidação de dados disponíveis e conhecimento existente.

O termo modelo refere-se a qualquer representação simplificada de uma situação real. O modelo conceitual constitui uma etapa fundamental para o desenvolvimento de modelos numéricos de fluxo subterrâneo, cujos objetivos são dar suporte ao planejamento da explotação e uso racional dos recursos hídricos subterrâneos, e realizar predições sobre o comportamento dos aquíferos ao longo do tempo, entre outros, de modo a conservar a qualidade natural das águas subterrâneas e a capacidade de fornecimento de água dos aquíferos (ANA, 2018). Assim, a descrição da dinâmica de circulação hídrica subterrânea e dos fatores intervenientes no sistema hidrogeológico são descritas a partir dos resultados obtidos na etapa de diagnóstico.

Com relação a estudos existentes, que abordam modelos conceituais do SAPP, podem ser citados Batista *et al.* (2010) e Braga (2014), ambos realizados na bacia hidrográfica do Baixo Curso do Rio Paraíba.

Braga (2014) construiu um modelo conceitual com uma única camada com condutividade hidráulica equivalente e espessura constante, em área definida como um subsistema hidrogeológico livre, composto pelos aquíferos Barreiras, Beberibe Superior e Beberibe Inferior. Batista *et al.* (2010), por sua vez, considerou dois subsistemas aquíferos, um livre, em toda a extensão constituída pelas formações Barreiras e os sedimentos aluviais e flúvio-marinhos; e um subsistema confinado pela formação Gramame, também em toda a extensão da área de estudo, constituído pelas formações Beberibe superior e inferior; mas desenvolveu um modelo com apenas uma camada confinada. Os modelos conceituais distintos desenvolvidos pelos autores refletem a complexidade hidrogeológica e as dificuldades em se definir um modelo consistente de fluxo subterrâneo para o SAPP, em escala regional.

Por fim, as atividades elaboradas englobam a definição do modelo conceitual que permite conhecer o comportamento do sistema e identificar processos de fluxo, assim como os elementos que condicionam o movimento da água. Também foi considerada interposição do sistema aquífero com as bacias hidrográficas. Para os trabalhos foram utilizados dados já levantados no capítulo 2 e outras informações foram aprofundadas.

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE OCORRÊNCIA DA UNIDADE GRAMAME

A unidade Gramame tem sido considerada a superfície de confinamento do reservatório subterrâneo Beberibe, em parte da área de estudo, de acordo com diversos estudos publicados.

Essa unidade aflora em apenas 23 km² da região sudeste da Paraíba (CPRM, 2004), em porções alongadas e estreitas ao longo da Falha de Mata Redonda (Figura 3.1), tanto de um como de outro lado dessa estrutura. Em subsuperfície sua extensão ainda não está bem clara, por conta da inexistência de perfilagens geofísicas e de escassos dados litológicos de poços.

A seguir, são apresentadas as evidências derivadas de estudos e dados que proporcionam inferências e conjecturas sobre a área de ocorrência e distribuição das espessuras do Aquitardo Gramame. Estes fatores desempenham um papel crucial no controle da natureza do fluxo subterrâneo, influenciando, por conseguinte, as diretrizes de gestão na região ocupada pela referida unidade.

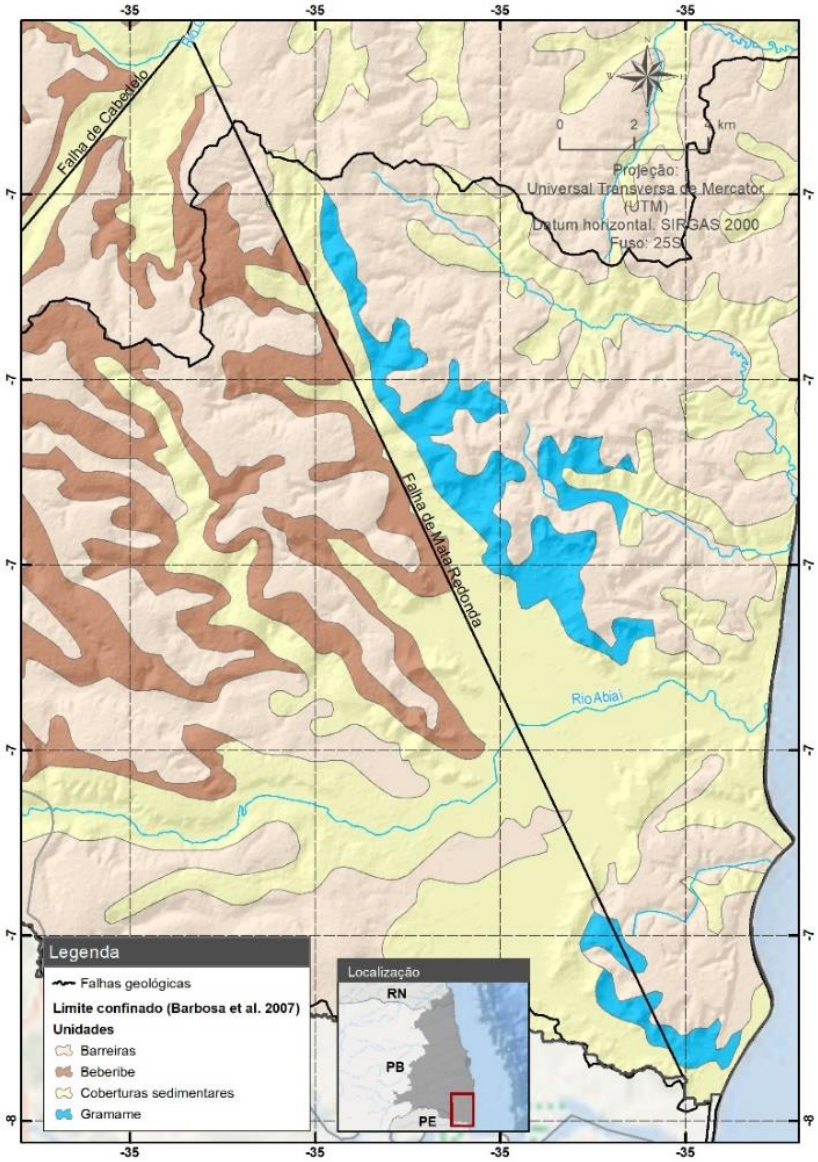


Figura 3.1 – Mapa geológico da porção sul do SAPP (CPRM, 2004).

Em estudo regional compreendendo a faixa litorânea de Pernambuco ao Rio Grande do Norte, Barbosa *et al.* (2007) apresentaram uma delimitação da unidade Gramame no Estado da Paraíba, cujo limite norte situa-se na Falha de Miriri e o limite sul na divisa com o Estado de Pernambuco. A área abrange 686 km², com largura máxima da ordem de 30 km e espessura máxima em torno de 100 m, e abrange as áreas de afloramento da unidade reconhecidas na porção sul da área de estudo (Figura 3.2). Este mesmo estudo apresenta um mapa de isópacas da Formação Gramame, baseado em informações litológicas da área de estudo, fornecendo detalhes sobre a distribuição de suas espessuras (Figura 3.3).

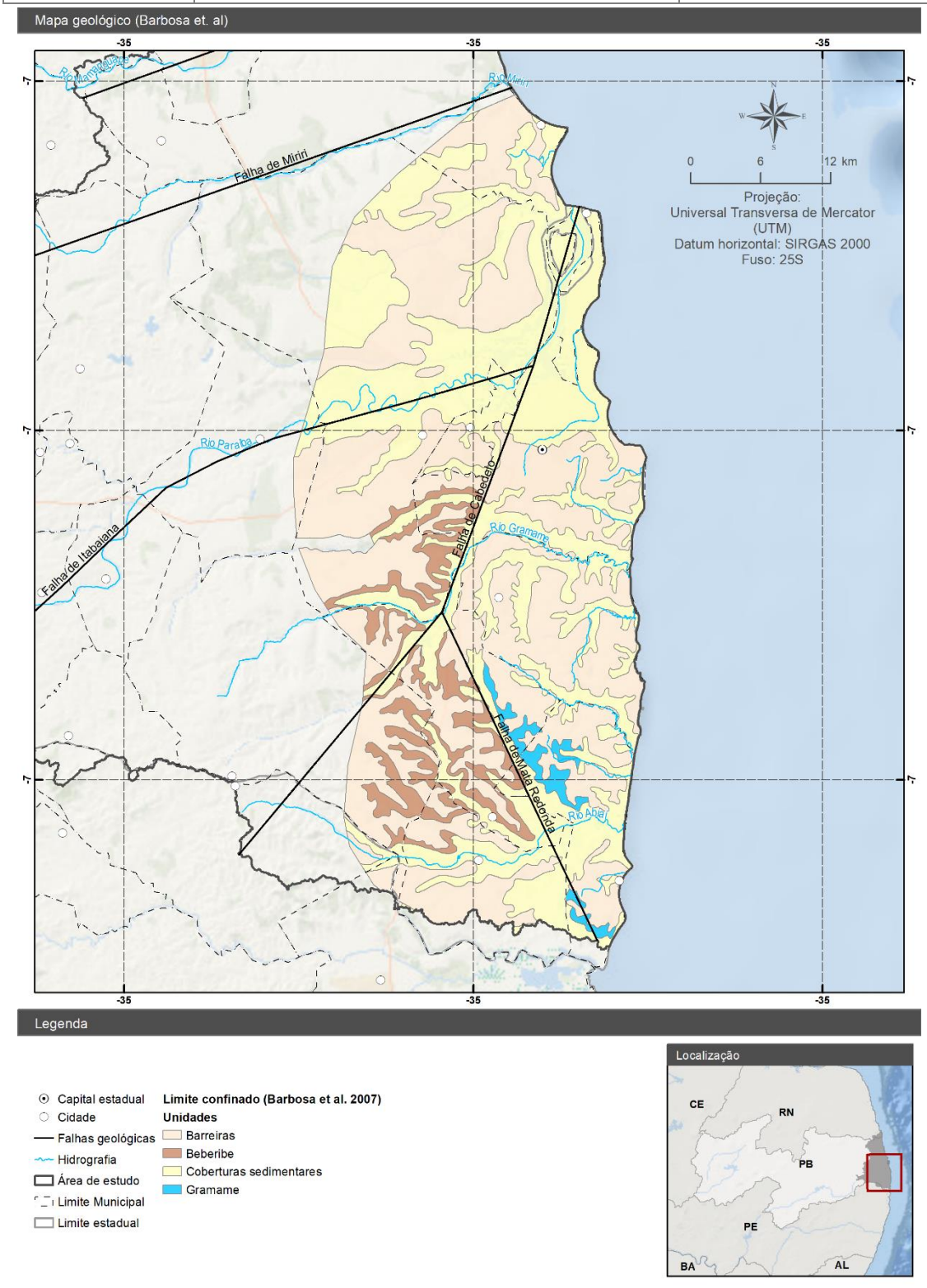


Figura 3.2 – Área de ocorrência da Formação Gramame, segundo Barbosa *et al.* (2007), delimitada sobre mapa geológico da CPRM (2004).

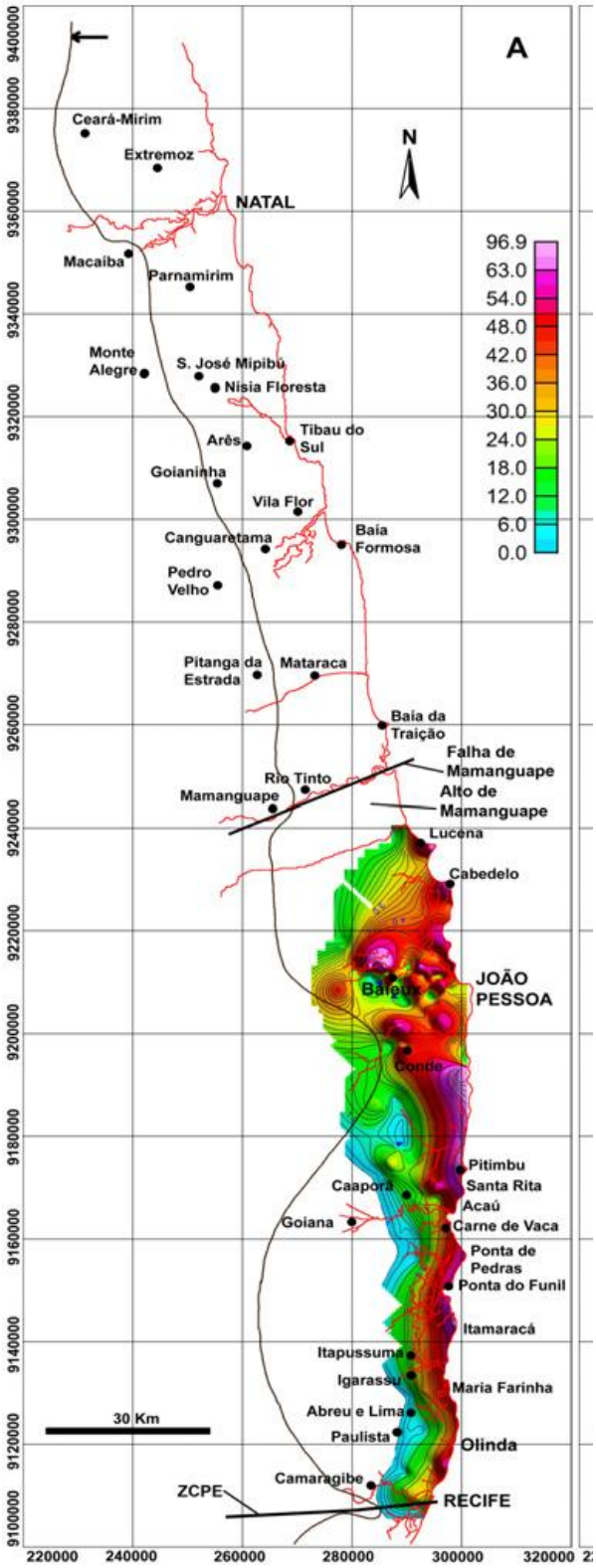


Figura 3.3 – Mapa de isópacas da Formação Gramame na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. Fonte: Barbosa *et al.* (2007).

Em sondagens elétricas, Costa *et al.* (2007) observaram que essa unidade Gramame ocorre descontinuamente na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba e de modo restrito no norte da área, e que sua espessura pode atingir até mais de 100 m. Os estudos geofísicos revelaram que esta formação não ocorre na parte norte da área de estudo, a partir do curso do Rio Mamanguape, nem na sua parte oeste, a partir da BR-101. Sua presença restringe-se a uma faixa mais próxima do litoral paraibano, particularmente no bloco estrutural denominado João Pessoa-Pitimbu, onde ocorrem as maiores espessuras. Esse bloco estrutural, segundo Costa *et al.* (2007), é conformado pela intersecção entre as falhas de Cabedelo e Mata Redonda e abrange os afloramentos da unidade Gramame localizados na porção sul da área de estudo.

Poços do cadastro SIAGAS, contendo descrição litológica de 129 poços profundos, foram analisados e plotados no mapa da Figura 3.4, sobre área da unidade Gramame definida por Barbosa *et al.* (2007). Os poços contendo camadas de calcário (litologia típica da unidade Gramame) em espessuras individuais variáveis, distribuídas em até 6 camadas, com totais variando de 3 m a 141 m, posicionadas em diversas profundidades, ocorrem no bloco estrutural João Pessoa-Pitimbu e Paraíba, ao longo da Falha de Cabedelo, todavia, não estão presentes no bloco estrutural Alhandra - Pedra de Fogo. Ressalva-se que o mapa geológico da CPRM (2004) registra um afloramento da unidade Gramame no citado bloco.

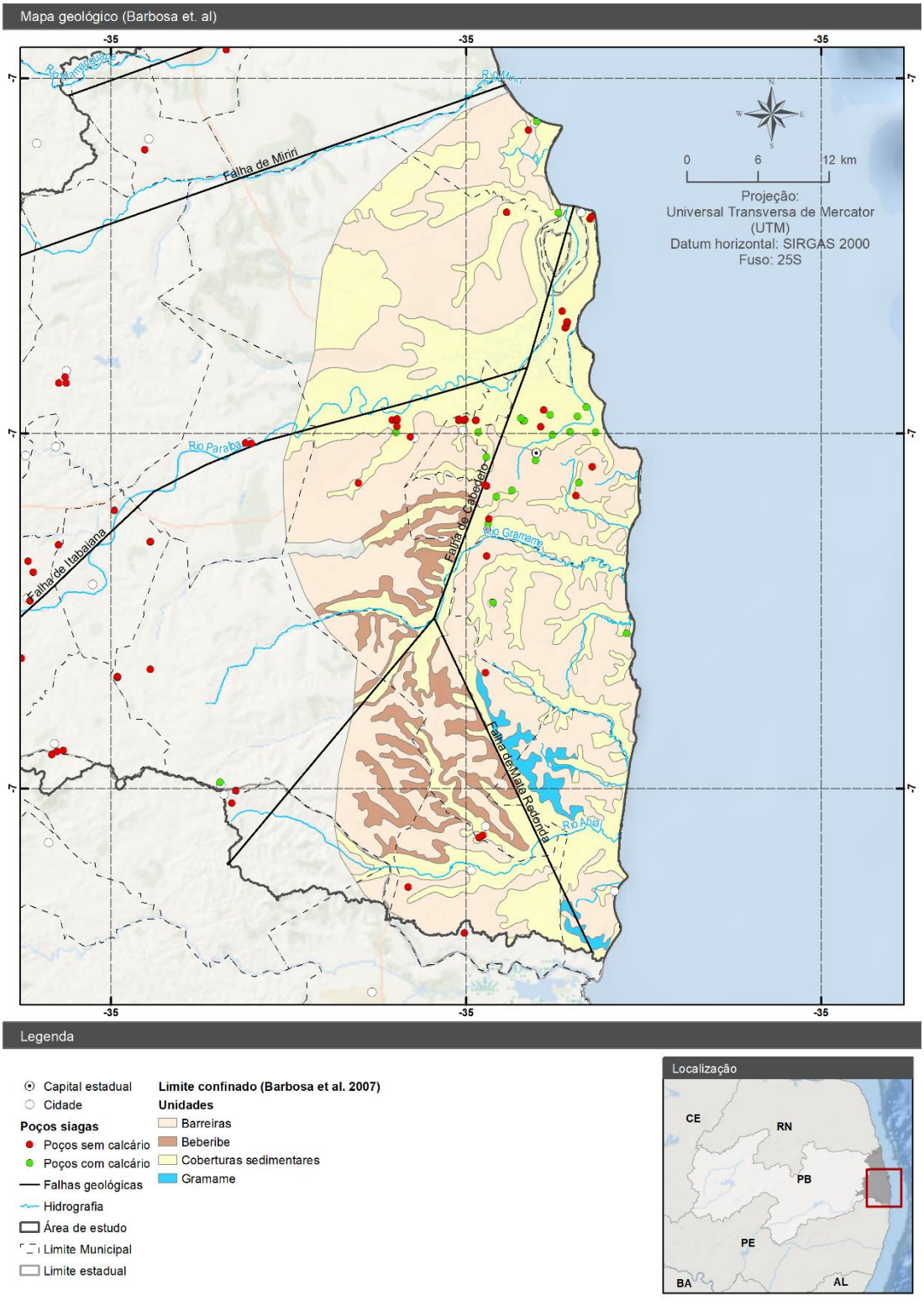


Figura 3.4 – Poços com descrição litológica extraídos do cadastro SIAGAS, plotados sobre a área da Formação Gramame, definida por Barbosa *et al.* (2007).

Um fato importante que chama a atenção é o registro de poços do cadastro SIAGAS sem indicação de camadas de calcário, localizados na mesma área de poços que atingiram rochas carbonáticas. A Figura 3.5 apresenta o mapa com a localização das quatro seções analisadas. A Figura 3.6 mostra uma seção geológica entre poços com dados litológicos do cadastro SIAGAS, localizados na região de João Pessoa. A figura evidencia camadas de calcário associadas à unidade Gramame com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas, incluindo o poço 8454, no qual não foram descritas camadas de calcário. Outras seções geológicas apresentadas neste documento (Figura 3.7 à Figura 3.9) confirmam esse fato.

Conforme demonstrado acima, uma delimitação mais precisa da extensão da unidade Gramame nas bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Gramame e Abiaí demanda uma quantidade mais significativa e detalhada de informações subsuperficiais. Considerando a importância da delimitação do Aquitardo Gramame para a gestão dos recursos hídricos do SAPP, foi definido um perímetro preliminar para esse aquitardo (Figura 3.10) a partir da integração das diversas informações apresentadas neste item.

Para estimar as espessuras da camada carbonática confinante do subsistema Beberibe, utilizaram-se dados litológicos provenientes de poços catalogados no SIAGAS/CPRM, localizados dentro da área preliminarmente delimitada da unidade Gramame. A análise e distribuição das espessuras do Aquitardo Gramame, obtidas por interpolação dos dados litológicos, são apresentadas na Figura 3.11, cujos valores variam entre 4 m e 92 m. Esses resultados são consistentes com dados previamente publicados por diversos autores, incluindo Costa *et al.* (2007) e Barbosa *et al.* (2007). É importante ressaltar que a estimativa da camada carbonática deve ser interpretada com cautela, pois as descrições dos perfis litológicos contidas nos relatórios de perfuração são imprecisas e pouco detalhadas.

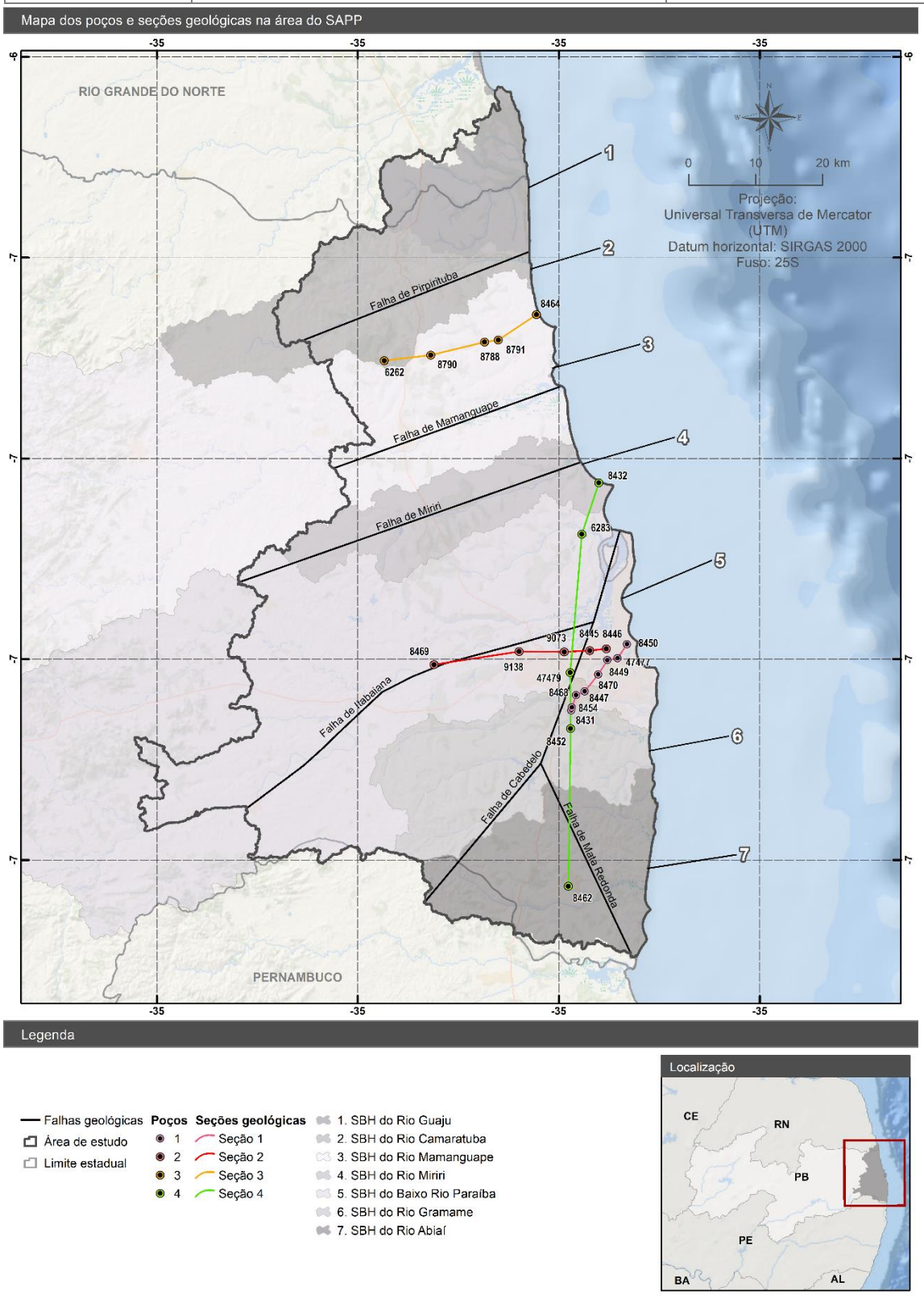


Figura 3.5 – Mapa de localização das seções geológicas apresentadas da Figura 3.6 à Figura 3.9.

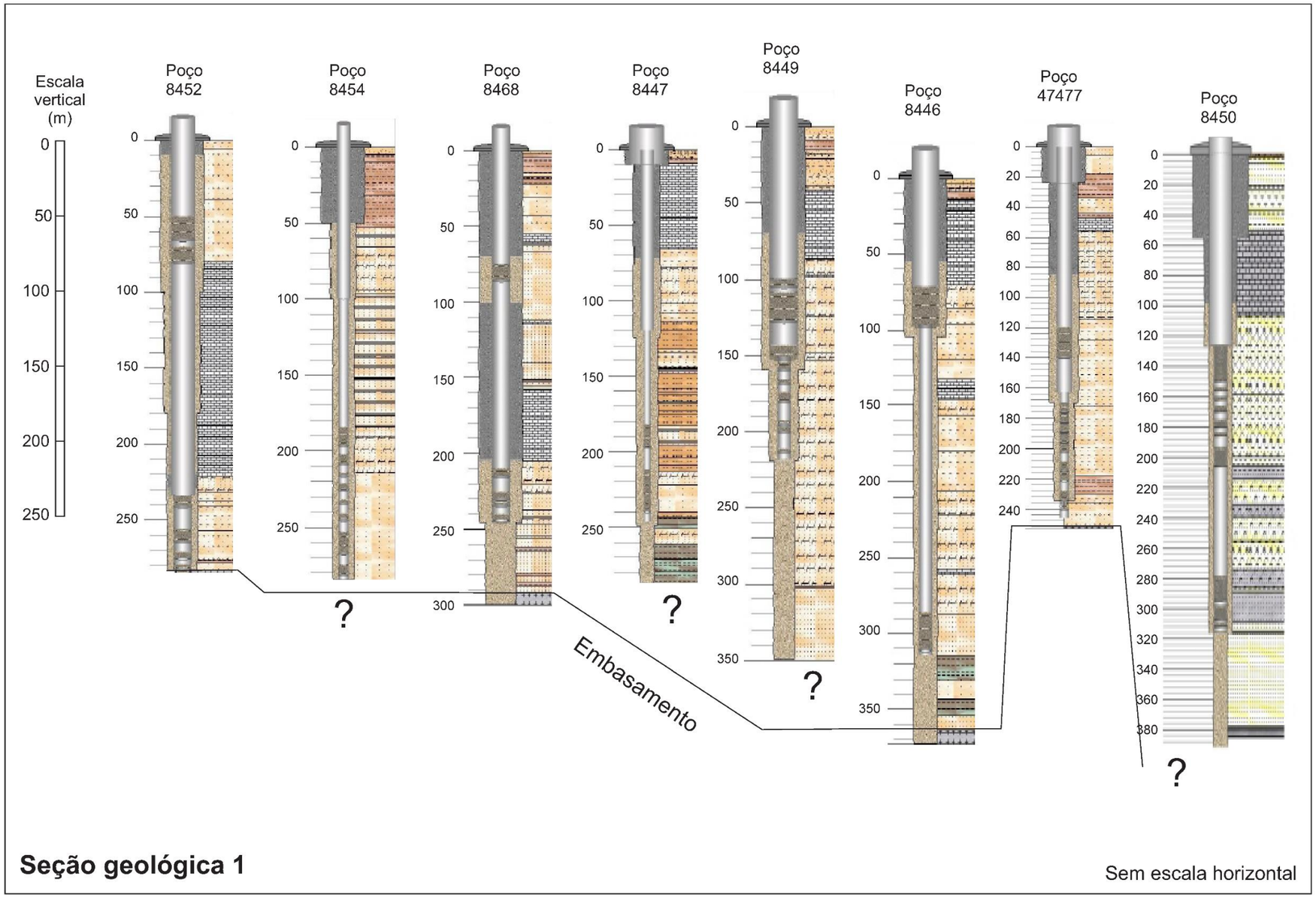


Figura 3.6 – Seção geológica 1 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas.

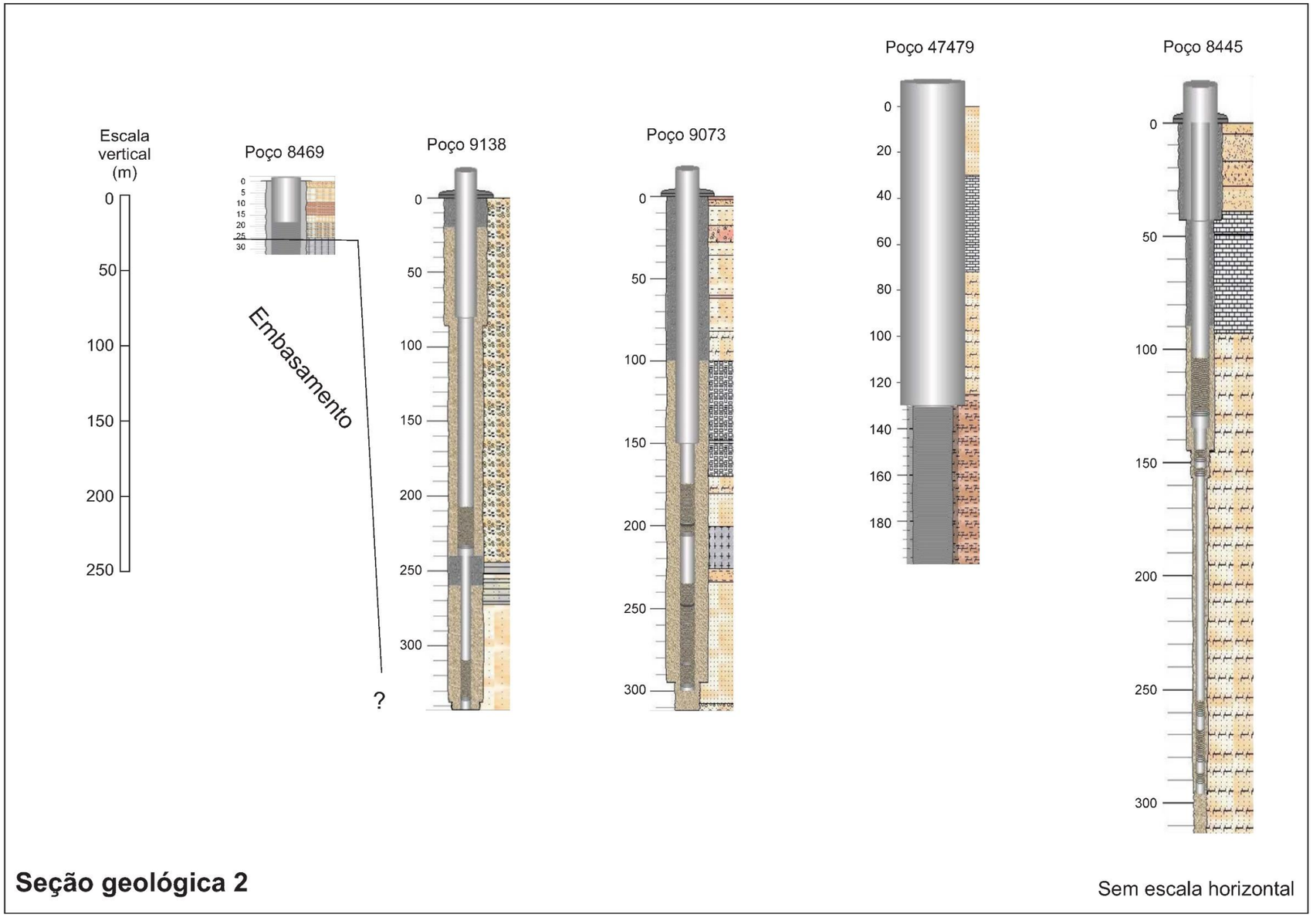


Figura 3.7 – Seção geológica 2 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas.

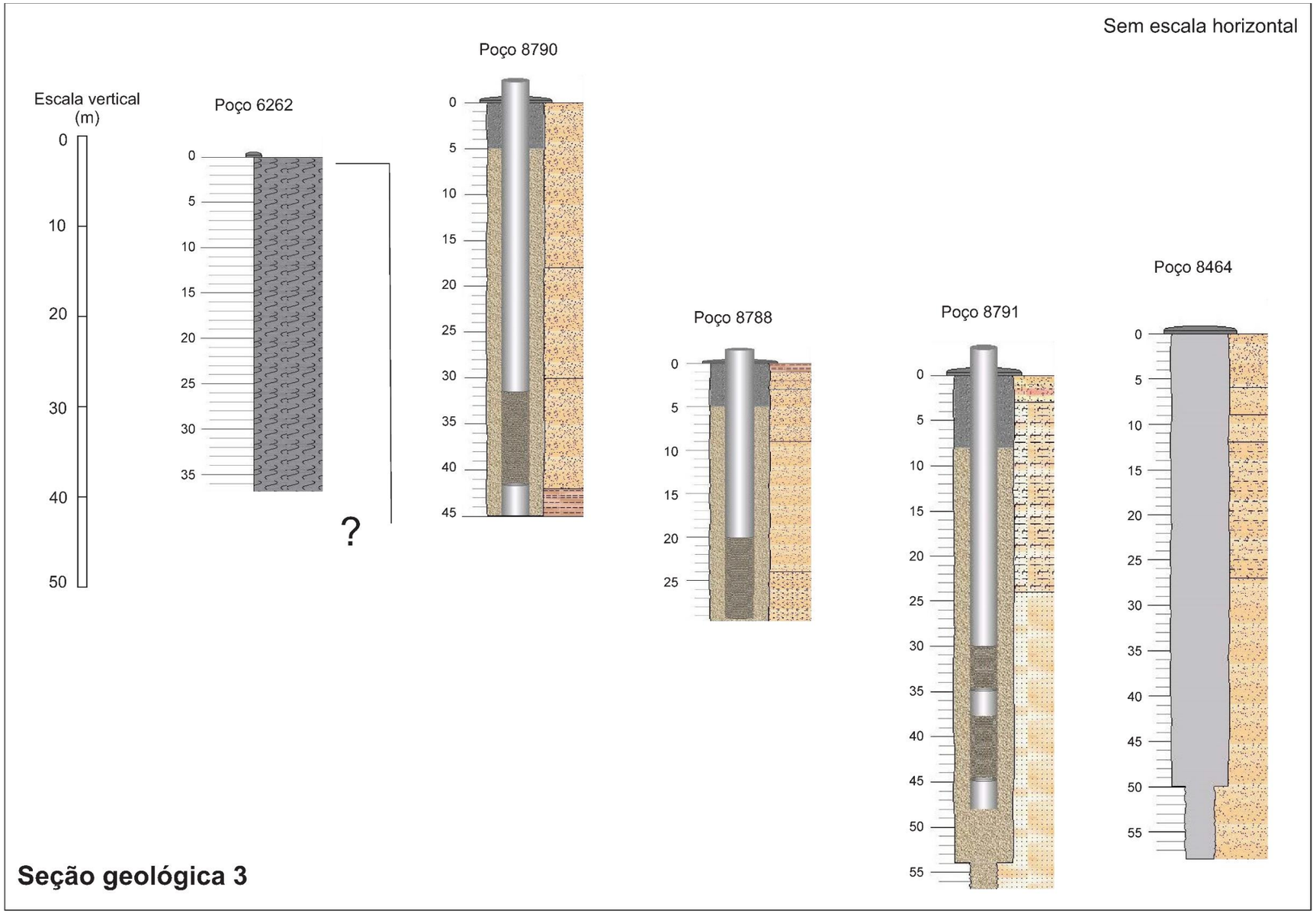


Figura 3.8 – Seção geológica 3 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas.

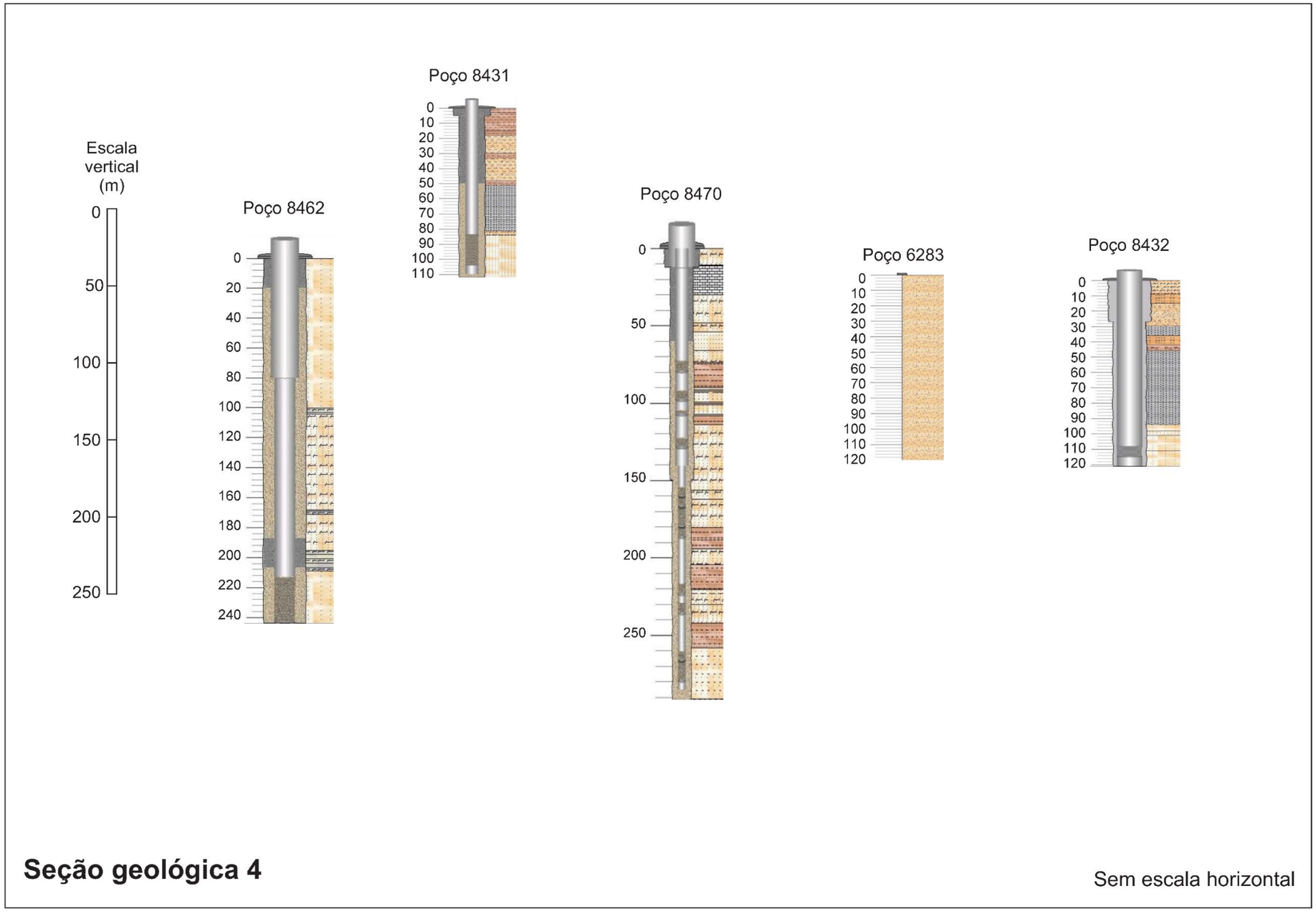


Figura 3.9 – Seção geológica 4 com perfis de poços do cadastro SIAGAS, mostrando camadas de calcário com espessuras variáveis e posicionadas em diferentes cotas.

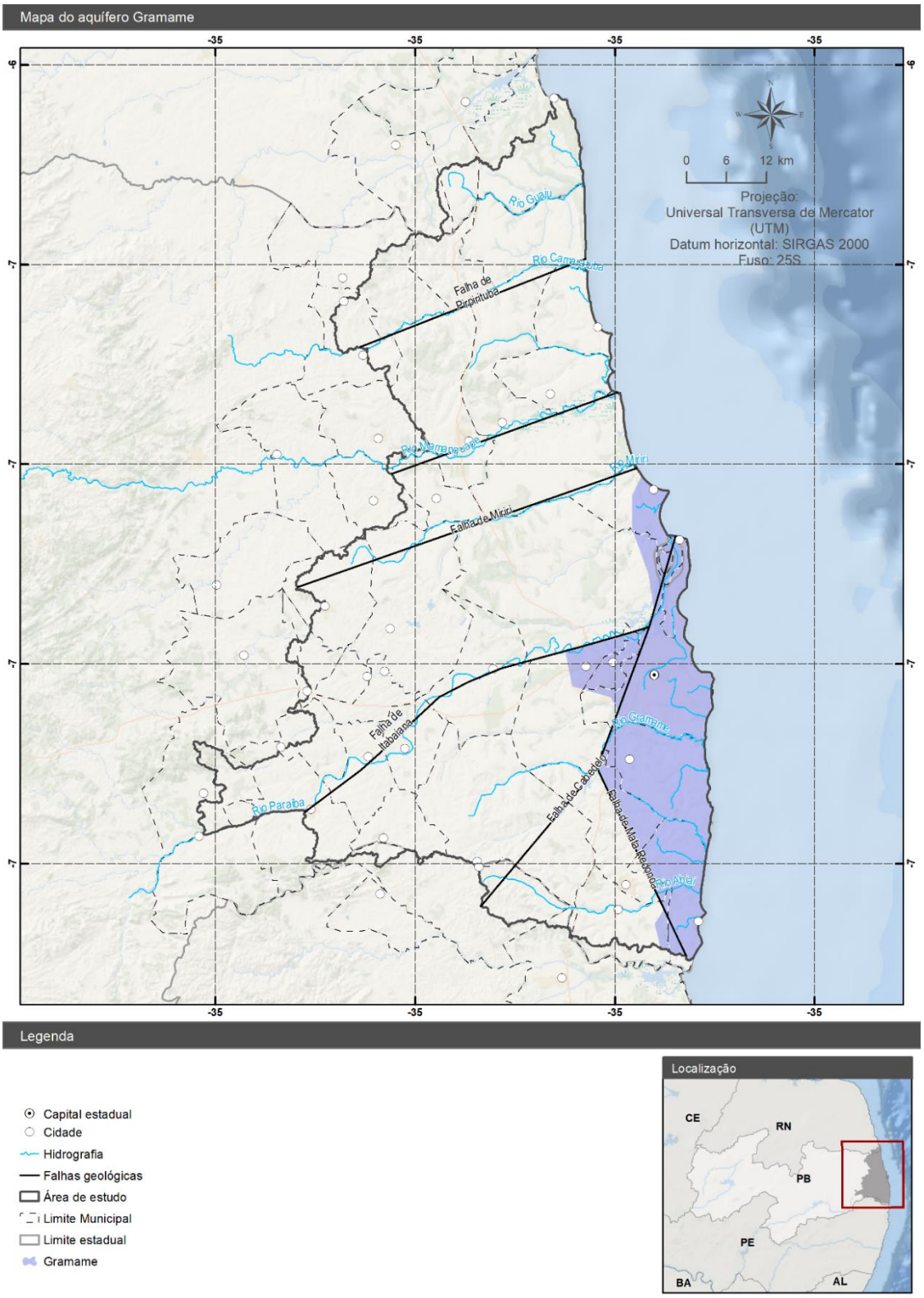


Figura 3.10 – Delimitação da área de ocorrência da unidade Gramame na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba.

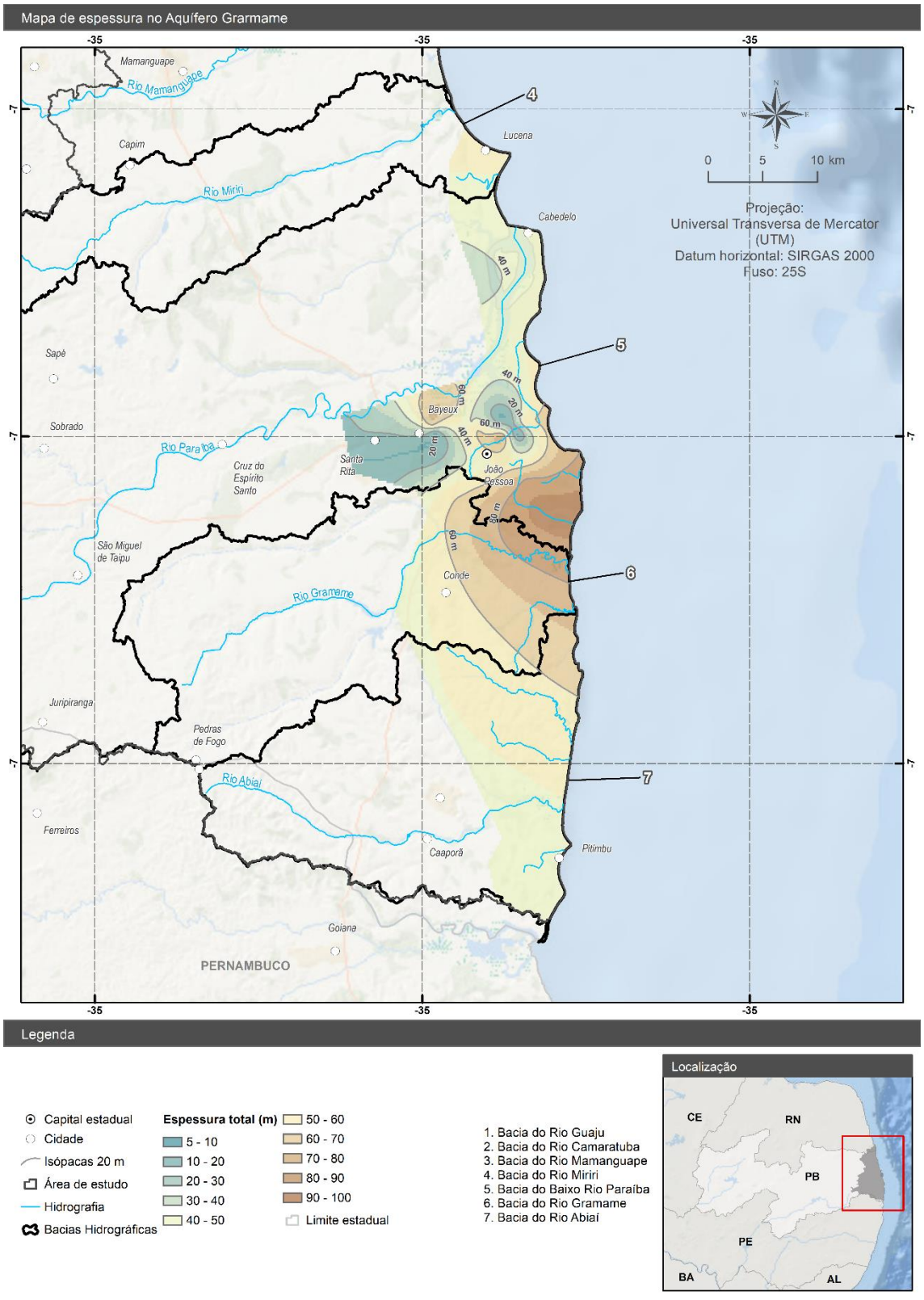


Figura 3.11 – Mapa de isópacas da Formação Gramame na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba.

3.2 COMPILADO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO SAPP

Os parâmetros hidrodinâmicos que governam a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas no subsolo, responsáveis pela quantidade de água acumulada e explotável desses reservatórios são:

- porosidade efetiva (Øe);
- condutividade hidráulica (K);
- transmissividade (T);
- coeficiente de armazenamento (S);
- vazão;
- vazão específica; e
- níveis.

Esses parâmetros permitem caracterizar e predizer o comportamento do fluxo subterrâneo em situações de interferência entre poços, infiltração de contaminantes, rebaixamentos de longo termo etc., fornecendo os elementos necessários ao conhecimento e à gestão dos recursos hídricos subterrâneos. O Quadro 3.1 apresenta um resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos encontrados para a área de estudo obtidos de diferentes fontes.

As informações estão organizadas por aquífero, entretanto, nem todos os dados encontrados possuíam essa distinção. Os detalhes dos dados encontrados a partir de cada fonte, suas especificidades e descrição dos parâmetros de cada uma das seis unidades hidroestratigráficas foi detalhado no item 2.2.7.8.

Quadro 3.1 – Resumo dos parâmetros hidrodinâmicos encontrados para os diferentes aquíferos do SAPP.

Fonte	Vazões (m³/h)	Vazões específicas (m³/h/m)	Condutividade Hidráulica (m/s)	Transmissividade (m²/s)	Coeficiente de Armazenamento
Eólicos e litorâneos					
CPRM	entre 1,0 e 10,0	inferior a 0,4	menor do que 1,0 x 10-7	menor do que 1,0 x 10-5	-
Aluvionares					
CPRM	entre 10,0 a 25,0	0,4 a 1,0	entre 1,0 x 10-7 e 1,0 x 10-6	1,0 x 10-5 e 1,0 x 10-4	-
Gramame					
	menor do que 1,0	inferior a 0,04	menor do que 1,0 x10-8	menor que 1,0 x 10-6	-
Beberibe					
CPRM	superiores a 100	4,0	maior que 1,0 x 10-4	maior que 1,0 x 10-2	
Lima *et al.* (2004)	100 (poços c prof > 250m)	-	-	-	-
Costa *et al.* (2007)	entre 9,1 e 54,5	-	2,7x10-5	1,60x10-3	1,5x10-4
SIAGAS (média)	51,3	1,9	-	-	-
Barreiras					
CPRM	1,0 a 50	entre 0,04 e 2,0	1,0 x 10-8 a 1,0 x 10-5	1,0 x 10-6 a 1,0 x 10-3	-
Costa *et al.* (2007)	-	-	1,0x10-4	1,7x10-3	5,0x10-4
SIAGAS (média)	26,6	1,5	-	-	-
Informações mescladas					
SIAGAS (média)	20,6	1,8	-	-	-

A caracterização hidrogeológica do SAPP, com suas seis unidades hidroestratigráficas, oferece uma visão detalhada das características distintas de cada aquífero. Contudo, divergências nos resultados entre diferentes estudos, especialmente no Aquífero Beberibe, apontam para a necessidade de uma abordagem mais uniforme na coleta e interpretação de dados, garantindo consistência e confiabilidade nas análises.

A análise estatística dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos específicos, como Barreiras e Beberibe, destaca a importância de dados mais abrangentes e representativos para uma avaliação mais robusta. A variação nos resultados pode ser associada à falta de dados para algumas unidades, enfatizando a necessidade de esforços adicionais na coleta de informações abrangentes.

Em suma, a compreensão dos parâmetros hidrodinâmicos é essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos na região. No entanto, a análise crítica aponta para desafios como a consistência dos dados e a representatividade amostral, ressaltando a importância de abordar essas questões para embasar decisões eficazes na utilização desses recursos.

3.2.1 *Limites físicos do SAPP*

As condições de contorno referem-se aos contornos físicos que influenciam o escoamento, como o substrato impermeável, limites dos aquíferos, topografia, espessuras dos aquíferos e conexões com cursos de água superficiais; e aos contornos hidráulicos, que se referem às condições de escoamento, como divisores de água e linhas de corrente (ou linhas de fluxo), potenciometria (carga hidráulica), transmissividade, porosidade efetiva e coeficiente de armazenamento.

As condições de contorno foram abordadas em seus diferentes itens, em razão de suas especificidades, listadas a seguir:

- potenciometria (carga hidráulica), topografia, conexões com cursos de água superficiais e aos contornos hidráulicos, que se referem às condições de escoamento, como divisores de água e linhas de corrente (ou linhas de fluxo) – Item 3.4;
- espessuras dos aquíferos – Item 2.2.7.5;

- transmissividade, porosidade efetiva e coeficiente de armazenamento – Item 3.2.

Os contornos físicos do SAPP, por sua vez, são representados pelas seguintes condições:

- Leste: faixa costeira adjacente ao oceano, definida pelo nível do mar (cota 0 m);
- Oeste: limite irregular junto ao contato com rochas cristalinas aflorantes do embasamento da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba;
- Norte: zona de cumeada que constitui divisor de águas superficiais da margem esquerda da bacia do rio Guaju, trecho este incidente no estado do Rio Grande do Norte;
- Sul: zona de cumeada que que constitui divisor de águas superficiais da margem direita da bacia do rio Abiaí, trecho este incidente no estado de Pernambuco;
- Superior: superfície potenciométrica que intercepta as exposições de rochas sedimentares do SAPP e define as direções de fluxo do aquífero livre;
- Inferior: superfície irregular e falhada do topo do embasamento cristalino, na qual estão acumulados os sedimentos do SAPP;
- Camada confinante constituída pela formação Gramame, que separa os subsistemas livre e confinado, cujo perímetro estimado é apresentado na Figura 3.10. Ocorre na porção sul do SAPP, no bloco estrutural João Pessoa–Pitimbu, delimitado pela intersecção entre as falhas de Cabedelo e Mata Redonda.

O sistema está distribuído diferenciadamente nos diversos blocos estruturais que o compartimentam. O subsistema livre contido ora apenas no Grupo Barreiras, ora no pacote formado pela superposição das sequencias Beberibe (superior ou inferior) e Barreiras, ocorre justamente nas áreas correspondentes aos Blocos onde falta a formação Gramame, ou somente nos sedimentos da Formação Beberibe. Eventualmente, o subsistema se insere nos sedimentos inconsolidados do Quaternário (sedimentos de praia, dunas e aluviões) que se lhe sobrepõem e, mais raramente, nos calcários da Formação Gramame (COSTA *et al.*, 2007).

Os blocos onde o subsistema livre ocorre, formado pelo conjunto das formações Beberibe e Barreiras, mais aluviões superpostos, são os seguintes: Camaratuba, Mamanguape, parte oeste do Bloco Miriri, Bloco Paraíba (exceto sua parte próximo ao município de Lucena) e bloco Alhandra-Pedras de Fogo, onde a formação Gramame parece terminar em forma de cunha (COSTA *et al.*, 2007).

O subsistema confinado a semiconfinado ocorre bem caracterizado no Bloco João Pessoa-Pitimbu e na parte leste do Bloco Alhandra-Pedras de Fogo, onde a Formação Gramame ainda foi preservada da erosão, sendo sobreposto pelo subsistema livre, contido nos sedimentos da Formação Barreiras e depósitos quaternários (COSTA *et al.*, 2007).

3.3 CONDIÇÕES DE RECARGA E DESCARGA DO SAPP

A fim de compreender de forma conceitual a dinâmica dos fluxos das águas subterrâneas nas regiões da área de estudo, duas abordagens distintas foram empregadas:

1. Áreas Potenciais de Recarga e Descarga: Nesta abordagem, as zonas de recarga e descarga são vistas como potenciais, refletindo uma condição regional que avalia o fluxo subterrâneo e onde a topografia desempenha um papel crucial na determinação dessas áreas;
2. Áreas Favoráveis: A segunda abordagem concentra-se nas camadas mais superficiais do terreno, ou seja, as características de geração de excedentes hídricos no solo. O resultado avalia qualitativamente a facilidade ou favorabilidade que a água precipitada possui para atingir as camadas mais profundas do solo e, por conseguinte, recarregar os aquíferos.

É importante destacar que essas avaliações são distintas e avaliam diferentes compartimentos, e, portanto, são complementares. As diferentes perspectivas adotadas por cada abordagem, oferecem uma visão mais abrangente e detalhada do comportamento hidrogeológico na área de estudo.

3.3.1 *Áreas potenciais de recarga e descarga*

A área de recarga do SAPP compreende toda a área de exposição das rochas constituintes desse sistema hidroestratigráfico capaz de permitir a infiltração direta de águas pluviais.

As condições de infiltração requerem que a zona não saturada tenha permeabilidade suficiente para permitir o fluxo descendente das águas precipitadas, de modo a alcançar a zona saturada do aquífero. Fatores geológicos e topográficos, principalmente,

controlam a taxa de infiltração. Por esse motivo, as áreas de recarga e descarga são tratadas como áreas potenciais e representam uma situação regional.

As áreas onde o fluxo subterrâneo deixa o aquífero e alcança a superfície do terreno são definidas como áreas de descarga. As áreas de descarga são representadas pelas áreas de topografia baixa, adjacentes às planícies dos cursos de água superficiais formadores das bacias hidrográficas. O movimento das águas subterrâneas das altitudes mais elevadas para as mais baixas é contínuo e ocorre mesmo abaixo dos cursos de superficiais. Dependendo das condições climáticas, topográficas e da posição do lençol freático no terreno, as drenagens podem receber contribuição da água subterrânea (drenagens efluentes) ou contribuir com o lençol freático (drenagens influentes).

A sazonalidade climática da área do SAPP se reflete na intermitência de boa parte dos cursos de água superficiais existentes, todavia, a elevação dos níveis na estação chuvosa permite que a água infiltrada seja lentamente devolvida aos rios na forma de escoamento de base. Em situações geológicas específicas, as águas infiltradas no solo podem atingir uma camada impermeável em subsuperfície e aflorar, dando origem a fontes naturais que, por sua vez, também representam zonas de descarga de água subterrânea.

No caso de açudes, lagos e represas, o fluxo para dentro ou para fora dos reservatórios depende da relação entre as cargas hidráulicas do reservatório e do aquífero. Se a carga hidráulica do aquífero for maior do que a do reservatório, o fluxo subterrâneo se dá no sentido do reservatório; se a carga hidráulica do aquífero for menor do que a do reservatório, o fluxo se dirige do reservatório para o aquífero (Figura 3.12).

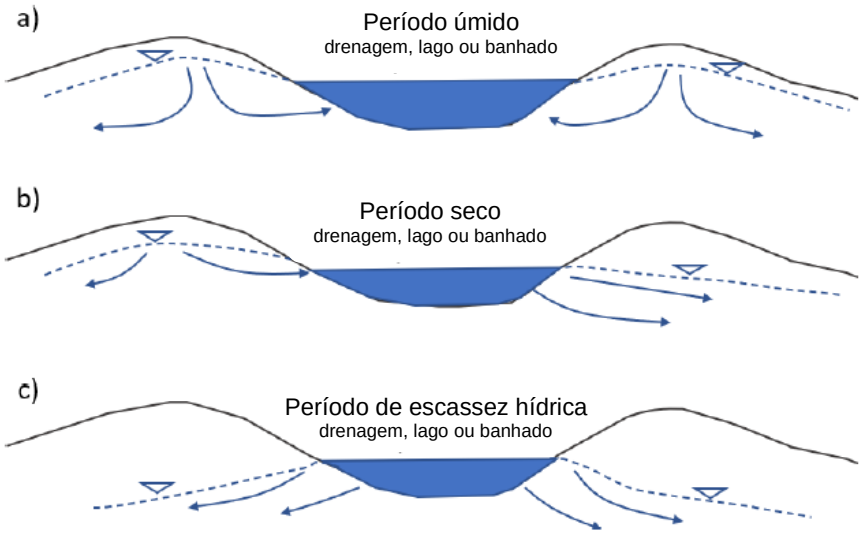


Figura 3.12 – Variações sazonais do nível de água subterrânea em cursos superficiais, lagos e áreas de planícies úmidas. Observa-se a descarga de água subterrânea nos corpos de água superficiais nos períodos mais úmidos [a e b] e a recarga do aquífero no período seco [c].
Fonte: Woessner, 2020.

Uma situação específica ocorre (condições de fluxo contínuo ou "*Flow-through Conditions*") quando o lençol freático é mais alto do que o nível de água do reservatório, de um lado, e menor do que do que o nível de água do reservatório, de outro lado (WOESSNER, 2020). Neste cenário, as águas subterrâneas são descarregadas nas águas superficiais, a montante, e as águas superficiais se infiltram no aquífero, a jusante (Figura 3.13).

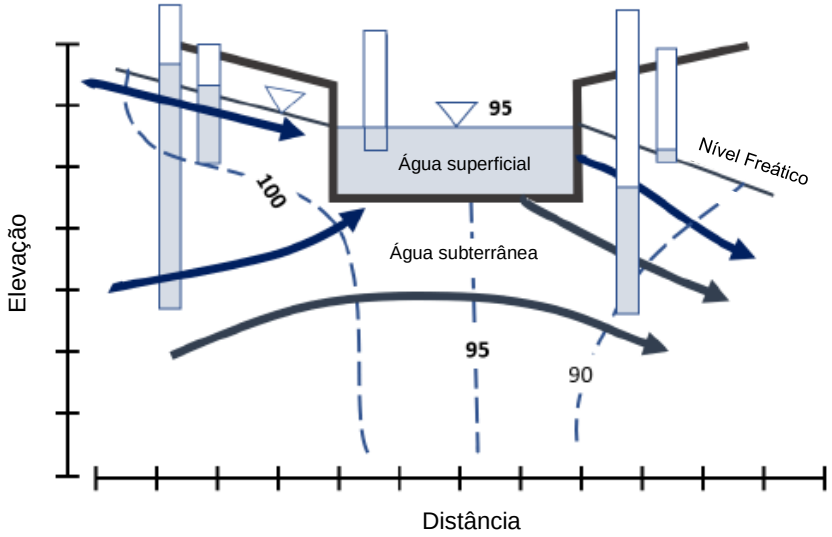


Figura 3.13 – Modelo conceitual de condições de fluxo contínuo ou “flow-through conditions” sob regime permanente e condições isotrópicas e homogêneas (WOESSNER, 2020).

A maioria dos reservatórios localizados na área do SAPP são formados por meio de barramento dos cursos de água superficiais, ou seja, estão em áreas de descarga dos aquíferos livres. Nesse sentido, os reservatórios têm comportamento efluente, ou seja, recebem contribuição de água subterrânea.

Outra questão importante se refere à eventual perda de água dos reservatórios por infiltração no aquífero. Os reservatórios superficiais, lagos e açudes têm a tendência de reter, no fundo, sedimentos finos, argilosos e frequentemente ricos em materiais orgânicos, que apresentam menor condutividade hidráulica em comparação com os materiais nos quais o lago se formou (WOESSNER, 2020). A presença de sedimentos com baixa condutividade hidráulica no fundo reduz as taxas de infiltração e garante uma eficiência maior no armazenamento hídrico.

O fluxo bidirecional contínuo e constante entre os recursos hídricos subterrâneos e superficiais atesta a estreita interconexão entre as águas subterrâneas e as águas dos rios, partes integrantes do mesmo ciclo hidrológico e, por isso mesmo, indissociáveis. De modo geral, as zonas deprimidas dos talvegues funcionam primordialmente como áreas de recarga e as zonas circunvizinhas relativamente mais elevadas constituem as áreas de recarga. Nesse sentido, os critérios utilizados para delimitação das áreas de recarga e descarga do SAPP foram a declividade do terreno e a rede hidrográfica. De

acordo com EMBRAPA (1979), terrenos com declividades de até 2% foram distinguidos como áreas de recarga.

Áreas de descarga foram distinguidas pelas declividades do terreno maiores do que 2% e também quando associadas a cursos de água superficiais e planícies aluvionares. A Figura 3.14 apresenta um exemplo com um padrão de drenagem que demonstra a característica da área como sendo de descarga. A mesma figura mostra que a carga hidráulica na vizinhança dessa área plana é maior do que a carga hidráulica dos rios. Logo, o movimento a água subterrânea é no sentido da maior carga para a menor. Ou seja, o aquífero descarrega para essa área plana.

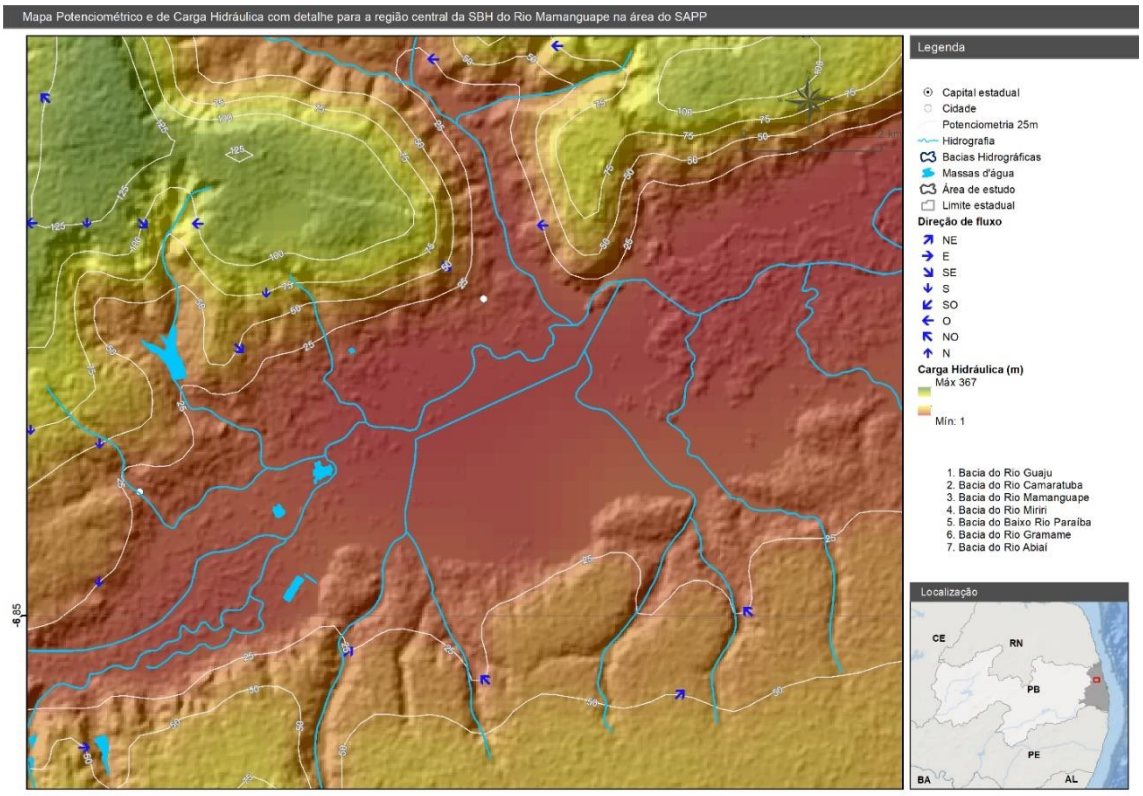


Figura 3.14 – Exemplo de região classificada como área de descarga e uma ilustração do porquê na região central da bacia hidrográfica do rio Mamanguape.

As áreas potenciais de recarga e as áreas de descarga do SAPP são mostradas na Figura 3.15. É importante destacar que uma das características das áreas de descarga é uma componente de fluxo subterrâneo ascendente, em direção à superfície do terreno. Esse fluxo ascendente pode não aflorar permanentemente por conta das condições

climáticas, como pode ser observado nas grandes planícies de inundação. A proximidade dos níveis de água da superfície do terreno causa evaporação.

O SAPP recebe em toda sua extensão águas provenientes de precipitações pluviométricas. Conforme identificado no capítulo de diagnóstico, o período chuvoso ocorre entre os meses de março a agosto e o período seco entre os meses de setembro a fevereiro. Durante os meses de março a agosto, as precipitações são mais frequentes e intensas, sendo junho o mês em que ocorrem os maiores índices pluviométricos.

A precipitação, principalmente na estação chuvosa, aumenta de oeste para leste, sendo maior no litoral do que no interior da bacia. Na estação seca essa diferença diminui, apesar de ainda ser maior no litoral do que no interior. As precipitações médias anuais do período de 1994 a 2022 variaram entre a mínima de 674 mm até a máxima de 1.892 mm.

Uma parcela da precipitação pluviométrica infiltra-se pelas camadas sedimentares do SAPP e dá origem à recarga direta dos reservatórios subterrâneos por meio da percolação vertical na zona não saturada. Essa parcela representa a recarga total do sistema aquífero e corresponde a 13% da precipitação média anual na Bacia Paraíba – estimada em 1.372 mm, equivalente a 0,78 km³/ano (Figura 3.16), conforme estimativa apresentada no capítulo de Diagnóstico.

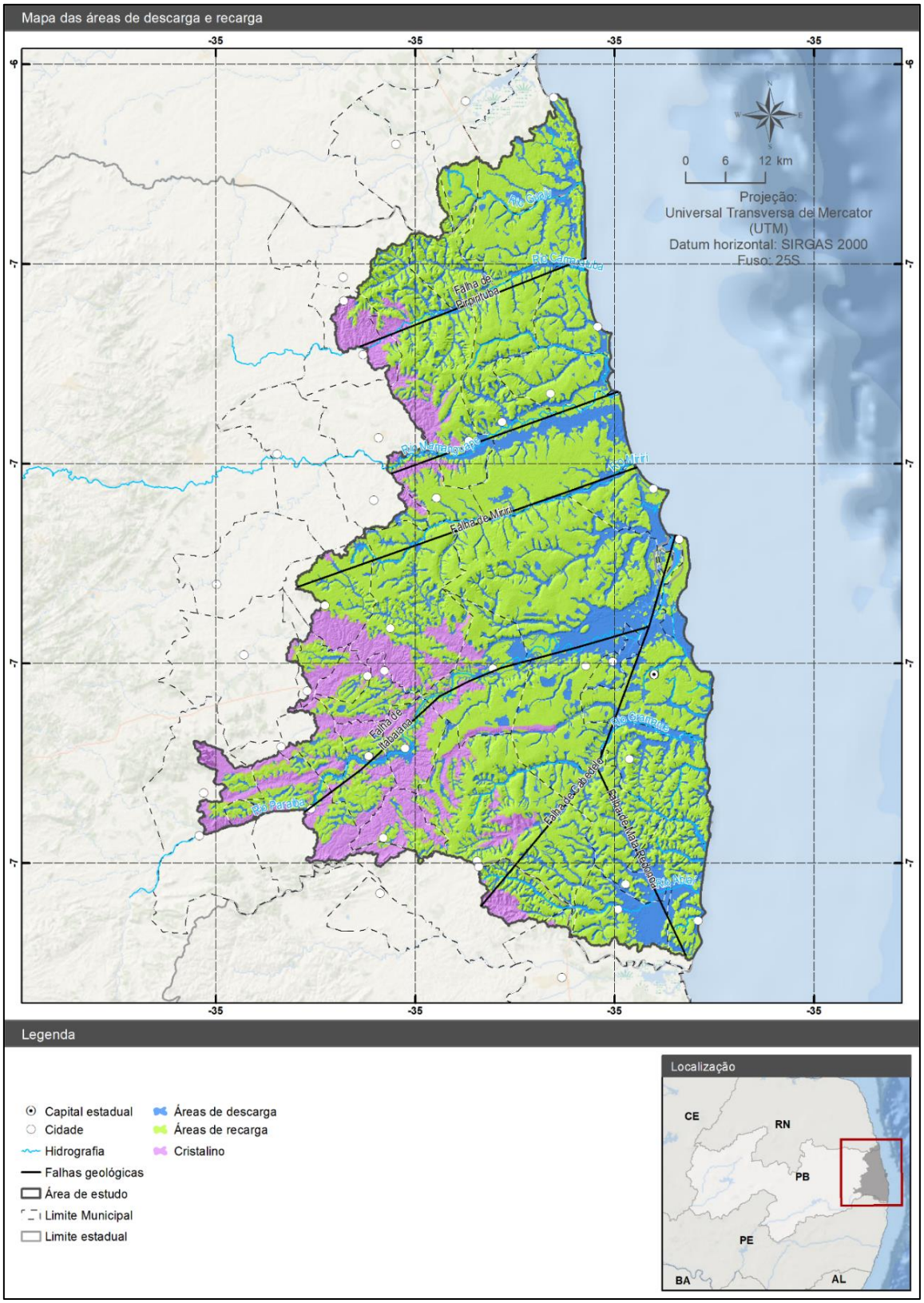


Figura 3.15 – Áreas potenciais de recarga e áreas de descarga do SAPP.

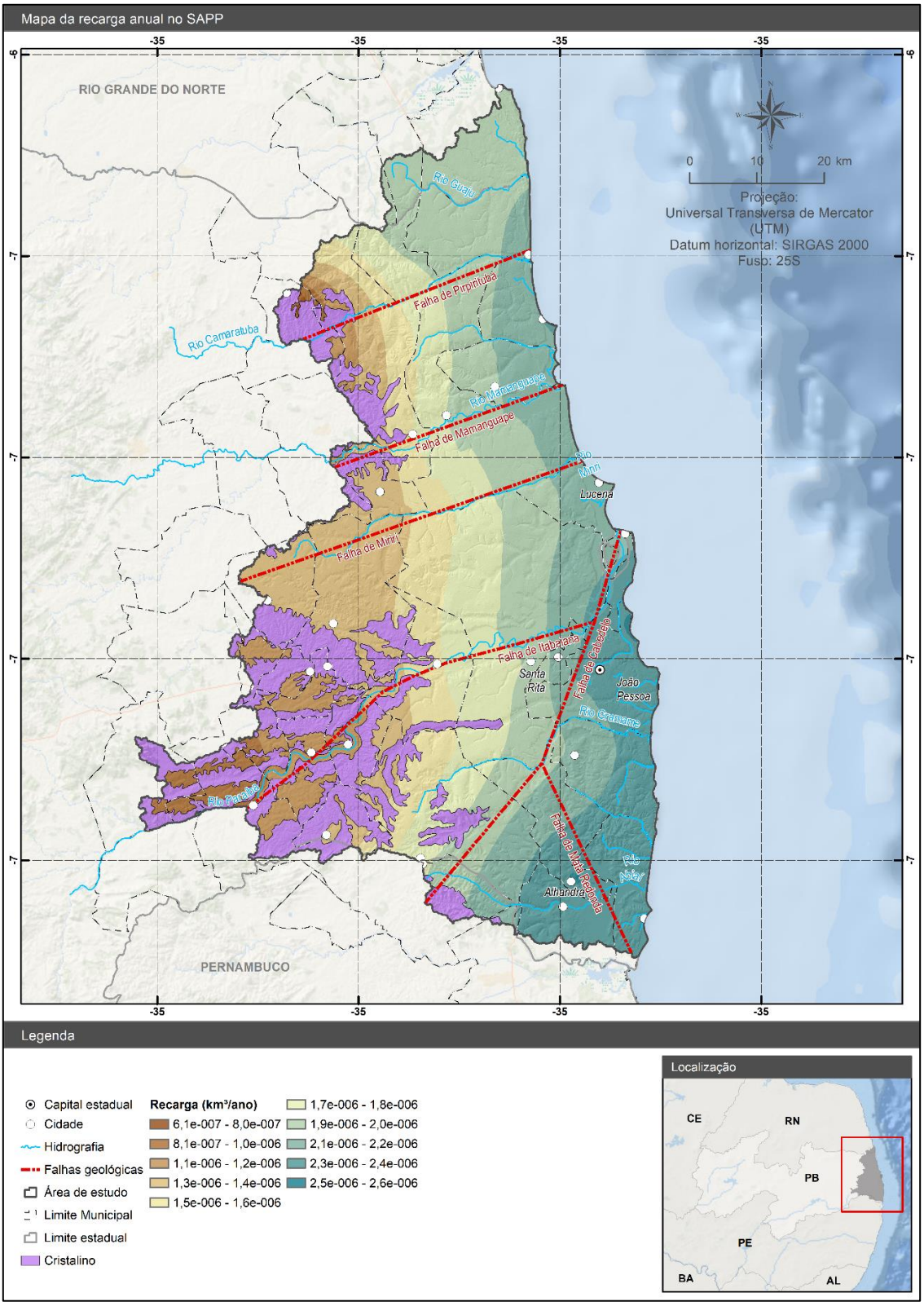


Figura 3.16 – Distribuição da recarga total do SAPP na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba.

A maior parte dessa vazão é descarregada para a rede de drenagem das bacias hidrográficas na forma de escoamento de base dos cursos de água superficiais, sejam perenes ou intermitentes, e equivale à reserva renovável dos aquíferos. As chuvas do período de estiagem também produzem recarga, todavia, nem toda a água infiltrada é descarregada pelos rios, podendo permanecer em profundidade. Essa recarga varia anual e espacialmente em função da quantidade de chuva precipitada.

Um percentual menor da recarga total, definido como recarga profunda, abastece os sistemas mais profundos e contribui com o fluxo subterrâneo regional. Em condições de semiconfinamento, a recarga direta por precipitação atmosférica por meio das camadas confinantes semipermeáveis é muito lenta, de modo que o reabastecimento do aquífero é vagaroso. Essa recarga é proporcional à condutância hidráulica (k'/b') da camada semiconfinante e à diferença de carga hidráulica entre os aquíferos acima e abaixo dessa camada.

A recarga profunda não foi estimada nos estudos anteriores realizados no SAPP, na Bacia Paraíba, todavia, é de conhecimento geral que esses valores são bem pequenos. Segundo ANA (2013a), a recarga profunda comumente situa-se entre 1% e 10% da recarga total ou efetiva. Gomes (2008) aponta valores de recarga profunda variando de 0,4 % a 2,4% da precipitação. Para Ponce (2007), as quantidades de percolação profunda correspondem a frações pequenas da precipitação, cuja média global é 2%.

Para um modelo com camadas perfeitamente confinantes, isolando totalmente o aquífero, a recarga direta (por precipitação pluviométrica) reduz-se a zero e a recarga indireta é promovida somente pela circulação lateral entre os reservatórios do sistema. O Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017) considerou que a recarga do subsistema confinado ocorre através do subsistema livre, quando a carga hidráulica deste último é maior.

Neste modelo conceitual, admite-se a recarga profunda do SAPP em 5% da recarga total, com o fluxo subterrâneo profundo deslocando-se da zona livre para a zona confinada do sistema, esses dados foram estimados no capítulo de Diagnóstico e serão retomados no capítulo das Zonas e Subzonas de Gerenciamento.

3.3.2 *Favorabilidade dos terrenos à recarga*

Para subsidiar o entendimento das áreas com maior potencial de recarga subterrânea no SAPP, foi aplicada uma metodologia para identificar regiões mais favoráveis à recarga. Quatro fatores foram considerados nesse processo: litologia, uso do solo, densidade de drenagem e declividade da região. A metodologia foi implementada com ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), integrando espacialmente todos os fatores e apresentando os resultados em mapas.

O método de mapeamento das áreas propensas à recarga subterrânea, apresentado a seguir, baseia-se nas publicações de Yeh et al. (2009, 2016) e Shaban et al. (2006). Esses autores empregaram o sensoriamento remoto como ferramenta para avaliar áreas de recarga, uma metodologia que tem se destacado e substituído análises locais tradicionais devido à sua representatividade espacial.

É relevante destacar que o método empregado possui algumas limitações. Em termos de escala espacial, a identificação de áreas com maior propensão à infiltração de água é realizada em uma abrangência regional; quanto à escala temporal, o método não permite a representação de condições temporárias no terreno.

Neste trabalho, os quatro fatores usados na análise de favorabilidade foram representados em mapas temáticos (Figura 3.18), onde cada um foi examinado considerando sua influência no processo de recarga subterrânea, com atribuição de pesos fundamentada no referencial teórico apresentado previamente. A seguir, detalham-se os produtos referentes aos quatro fatores utilizados:

- Litologia: A litologia é essencial para o entendimento da ocorrência de recarga subterrânea, pois afeta como a recarga percola e se armazena no aquífero. A litologia utilizada no estudo baseia-se no Mapa de Geodiversidades do Estado da Paraíba (TORRES e SILVA, 2017). A classe de formações superficiais inclui depósitos colúvio-eluviais, flúvio-marinhos e depósitos litorâneos, enquanto a classe de rochas sedimentares reúne as demais formações aflorantes;
- Uso e ocupação do solo: O *shapefile* de uso e cobertura do solo utilizado é o mesmo elaborado no capítulo de diagnóstico. Os diferentes usos e ocupações do solo interferem diretamente no balanço hídrico, afetando processos de

evapotranspiração, escoamento superficial direto e infiltração, e, assim, a entrada de água no sistema subterrâneo;

- Densidade de drenagem: A densidade de drenagem é o somatório do comprimento dos trechos de rio dividido pela área total da bacia hidrográfica em estudo. Esse fator fornece informações sobre a taxa de percolação, auxiliando na identificação das zonas de recarga. O *shapefile* de drenagem usado nesta análise é parte da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas da ANA (BHO 2017). O fator parte do pressuposto de que, em áreas similares, locais com maior densidade de drenagem apresentam maior descarga aquífera, indicando uma maior entrada de água no sistema proveniente da recarga;
- Declividade: As declividades da região influenciam diretamente na infiltração da água da chuva, que se torna recarga. Assim, relevos mais dissecados produzem menos recarga, devido ao escoamento superficial direto predominante, que reduz a taxa de infiltração de água no solo. A declividade utilizada no estudo foi gerada com ferramentas SIG, a partir do Modelo Digital de Superfície "*SRTM - Shuttle Radar Topography Mission*", com 30 metros de resolução espacial.

Durante a ocorrência da recarga subterrânea, os fatores apresentados acima não possuem a mesma influência de atuação sobre o processo. Para aplicar o método de identificação das áreas favoráveis à ocorrência de recarga, foram utilizados valores de influência e peso do fator a partir do referencial bibliográfico citado anteriormente.

Durante a ocorrência da recarga subterrânea, os fatores acima não têm a mesma influência sobre o processo. Para aplicar o método de identificação das áreas favoráveis à recarga, foram utilizados valores de influência e peso para cada fator com base no referencial bibliográfico citado anteriormente.

O peso de cada fator representa sua contribuição no valor da escala de recarga potencial. Em um estudo de grande escala, como não é possível testar os fatores diretamente, os valores são atribuídos de forma subjetiva conforme a importância de cada fator no processo: quanto maior o valor, maior a influência. A cada fator ainda foi atribuída uma variação de baixa a alta influência no processo, variando de 1 a 10. O efeito de cada fator foi determinado a partir da classificação entre os valores máximos e mínimos obtidos no geoprocessamento. O Quadro 3.2 apresenta os valores adotados

para a análise; maiores detalhes dos pesos e da sua determinação podem ser encontrados no referencial citado anteriormente.

Quadro 3.2 – Caracterização dos fatores influenciando a ocorrência da recarga subterrânea e pesos atribuídos aos fatores.

Fator	Influência do fator	Peso do fator	Classificação	Peso Final atribuído
Densidade de Drenagem (Adimensio-nal)	6,5	1,5	5 – 13	9,75
	5		3 – 5	7,5
	3,5		2 – 3	5,25
	2		1 – 2	3
	0		0 - 1	0
Litologia	10	3	Materiais Superficiais	30
	8		Rocha Sedimentar	24
	5		Calcário	6
Declividade (%)	10	1,5	0 – 2%	15
	8		2 - 4%	12
	6,5		4 – 7%	9,75
	5		7 - 11%	7,5
	2		> 11%	3
Uso e Ocupação do Solo	5	2,5	Agricultura	12,5
	3,5		Campos e Pastagens	8,75
	2		Florestas	5
	1		Prédios	2,5
	0	0	Área de descarga	0

Fonte: adaptado de Shaban *et al.* (2006) e Yeh *et al.* (2016).

Com base nos pesos finais atribuídos a cada um dos fatores, a delimitação das zonas de recarga subterrânea foi obtida pela soma das camadas correspondentes aos quatro fatores. A soma foi realizada no *software* de geoprocessamento QGIS, com a ferramenta "calculadora *raster*", como mostra a Figura 3.17.

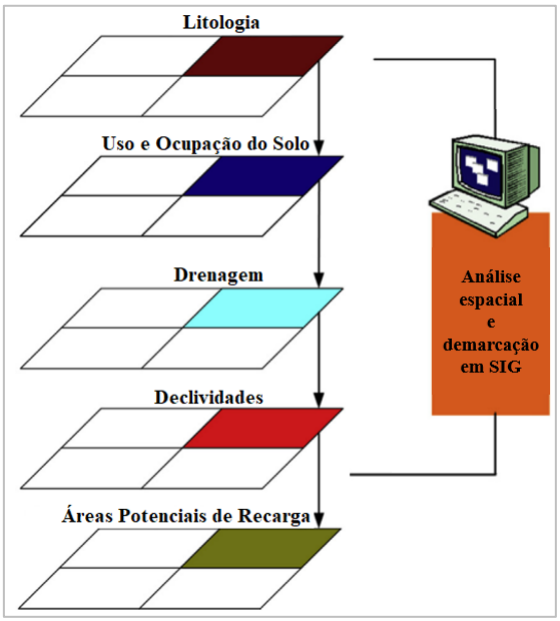


Figura 3.17 – Análise em SIG realizada com os quatro fatores. Fonte: Adaptado de Yeh *et al.* (2016).

Além disso, as áreas de descarga dos aquíferos, identificadas no tópico anterior (3.3.1) foram contempladas junto aos resultados. A representação espacial dos fatores considerados na análise de favorabilidade é mostrada na Figura 3.18.

O produto com a espacialização das áreas favoráveis para a recarga subterrânea tem resolução espacial de 30 m e é mostrado na Figura 3.19. Os valores calculados por geoprocessamento foram classificados em cinco categorias de favorabilidade de recarga subterrânea: Ruim (20-40), Baixa (41-50), Moderada (51-60), Boa (61-70) e Excelente (71-81).

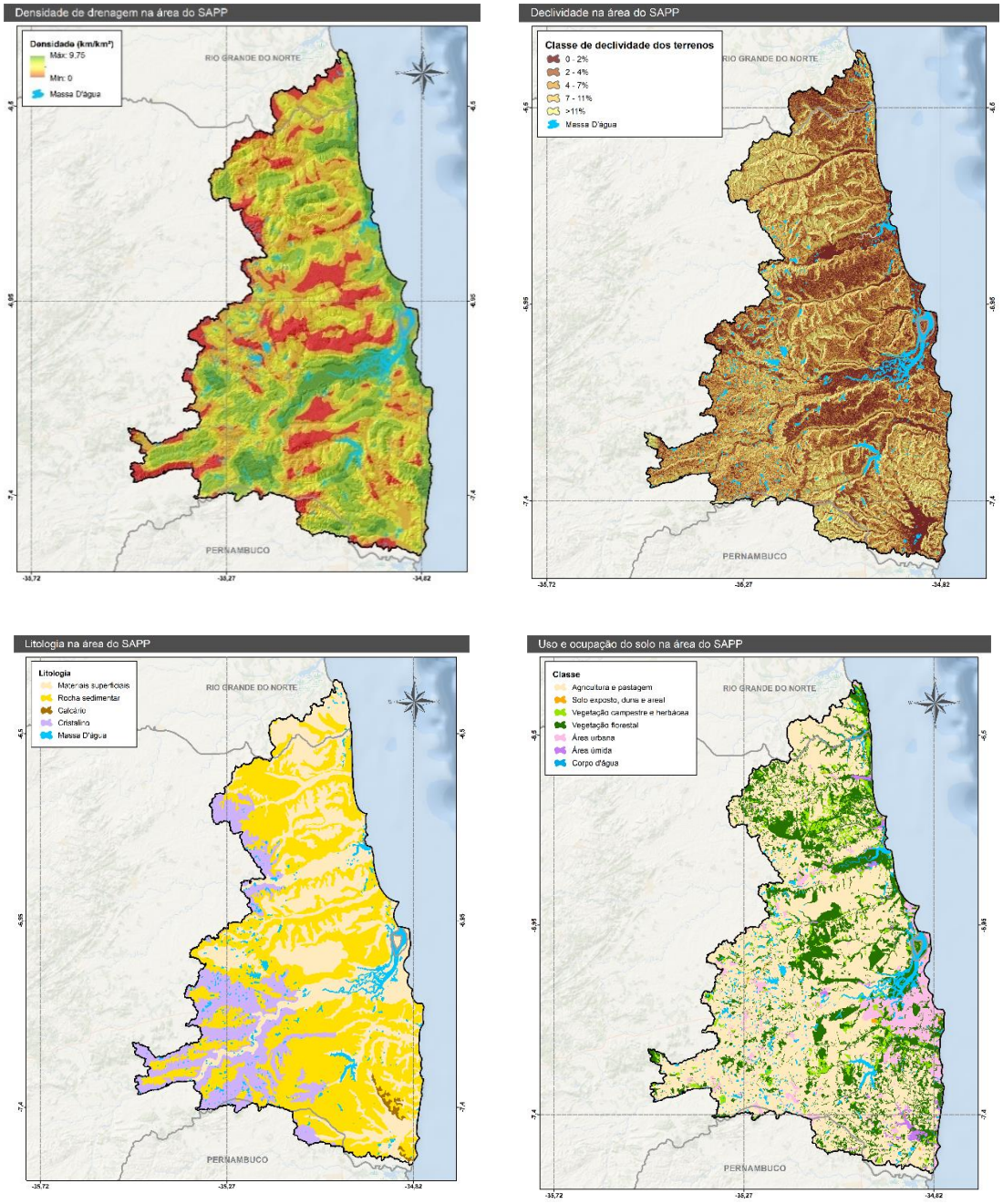


Figura 3.18 – Representação dos fatores considerados para a análise de favorabilidade de recarga subterrânea.

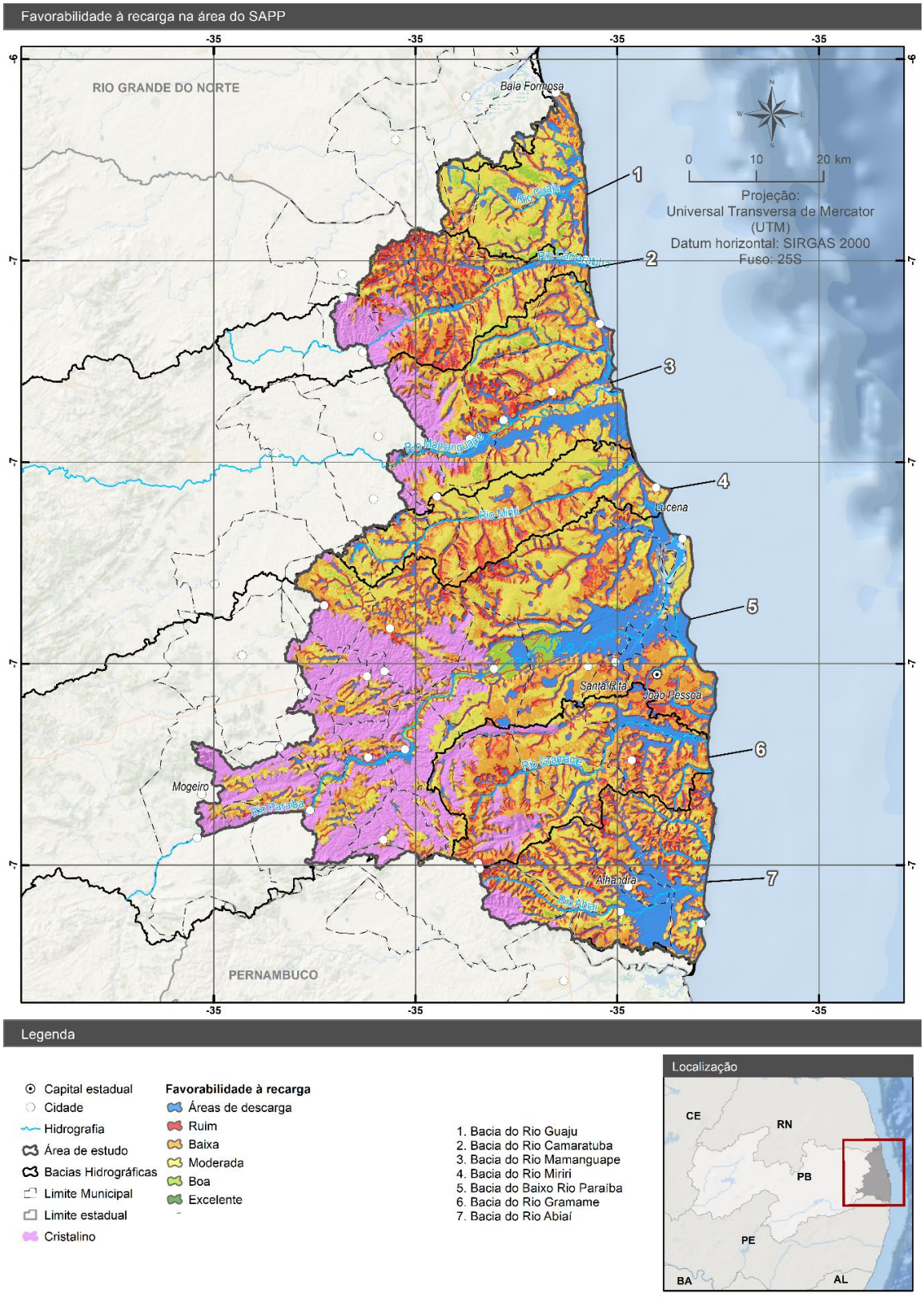


Figura 3.19 – Mapa de áreas favoráveis para a ocorrência de recarga subterrânea.

Os resultados obtidos indicam que as regiões de formações superficiais apresentam uma favorabilidade moderada para recarga subterrânea. As áreas compostas por rochas sedimentares possuem uma favorabilidade que varia de ruim a baixa. Observam-se também algumas regiões com favorabilidade de boa a excelente para recarga, especialmente na área de uso agrícola e litologia de materiais superficiais localizada a oeste de João Pessoa. Na capital do estado da Paraíba, predominam grandes áreas com baixa a ruim favorabilidade para recarga de água subterrânea.

Observa-se uma relação clara entre as áreas favoráveis à ocorrência de recarga subterrânea e os diferentes usos do solo na área de estudo. As regiões mais urbanizadas, como a cidade de João Pessoa, apresentam potenciais de recarga que variam de ruim a moderado na maior parte das áreas. Já as áreas ocupadas por agricultura e pastagem mostraram-se mais favoráveis à recarga subterrânea, variando de moderada a boa favorabilidade.

O Quadro 3.3 apresenta o detalhamento das áreas favoráveis à recarga para cada uma das bacias hidrográficas da área de estudo, indicando as porcentagens de área ocupadas por cada grau de favorabilidade. Incluíram-se os percentuais de área do aquífero fraturado (que não é o foco deste estudo) para representar os percentuais reais de cada grau de favorabilidade na área de estudo.

Quadro 3.3 – Áreas favoráveis a ocorrência da recarga subterrânea para cada bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Embasamento Cristalino	Áreas de descarga	Favorabilidade				
			Ruim	Baixa	Moderada	Boa	Excelente
Bacia do Rio Abiaí	4,4%	36,9%	6,6%	26,2%	24,2%	1,6%	0,01%
Bacia do Rio Camaratuba	15,1%	19,3%	13,0%	29,7%	21,0%	1,8%	0,00%
Bacia do Rio Gramame	11,2%	23,7%	8,1%	31,3%	24,8%	0,9%	0,00%
Bacia do Rio Guaju	0,0%	23,7%	1,5%	14,8%	49,8%	10,2%	0,01%
Bacia do Rio Mamanguape	12,1%	25,1%	5,4%	20,9%	33,3%	3,2%	0,04%
Bacia do Rio Miriri	0,6%	18,7%	5,7%	27,8%	45,1%	2,0%	0,00%
Bacia do Rio Paraíba	27,1%	23,0%	3,5%	19,7%	23,9%	2,8%	0,02%

Entre a Figura 3.20 e a Figura 3.26 são apresentados os resultados com detalhamento para cada uma das sete bacias hidrográficas que compõem a área de estudo e são seguidas de um descritivo a respeito da favorabilidade para recarga em cada uma delas.

3.3.2.1 Rio Guaju

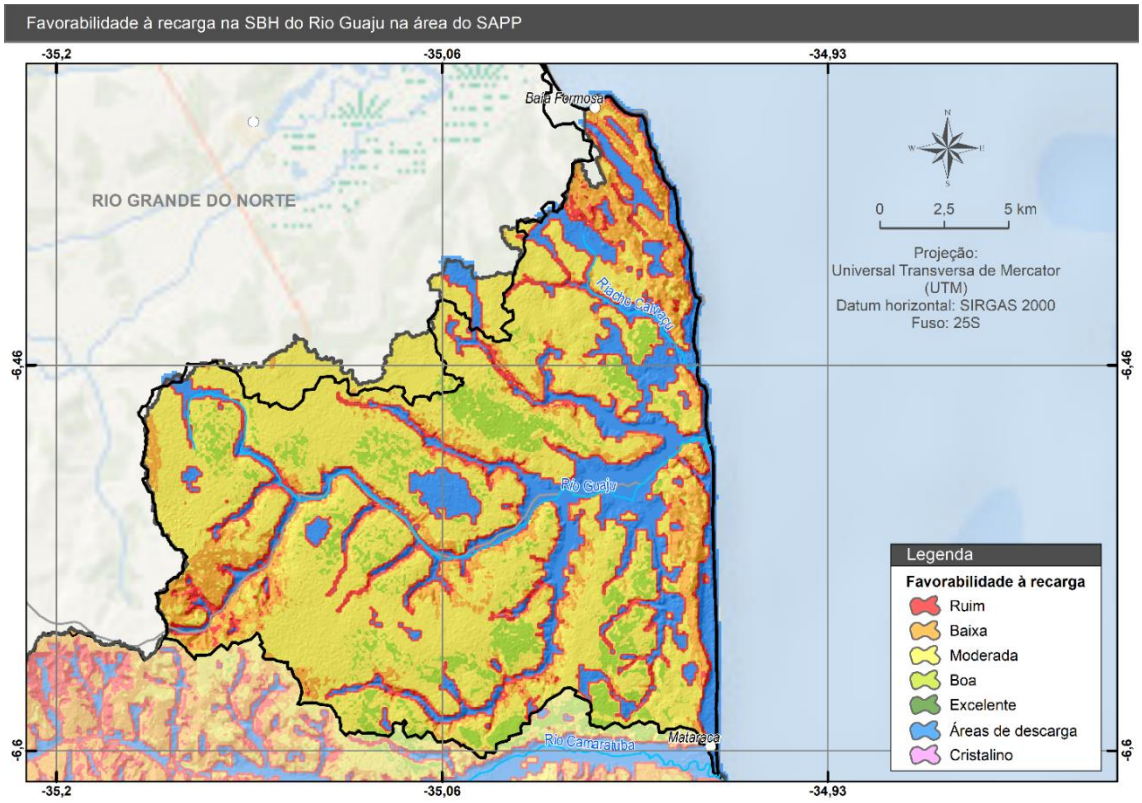


Figura 3.20 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Guaju.

A bacia hidrográfica do Rio Guaju apresenta, em grande parte de sua extensão, o uso e ocupação do solo classificado como agricultura, com litologia predominante de materiais superficiais, declividades planas e alta densidade de drenagem nos limites com a bacia do Rio Camaratuba. Essa combinação resulta em aproximadamente 50% da área sendo ocupada por áreas de média favorabilidade à recarga. As áreas classificadas como boas para recarga estão dispersas, representando cerca de 10% da área da bacia, enquanto as áreas de baixa favorabilidade ocupam em torno de 15%. O restante se distribui entre as demais classes de forma menos expressiva (<10%) e nas áreas de descarga dos aquíferos (23,7%).

3.3.2.2 Rio Camaratuba

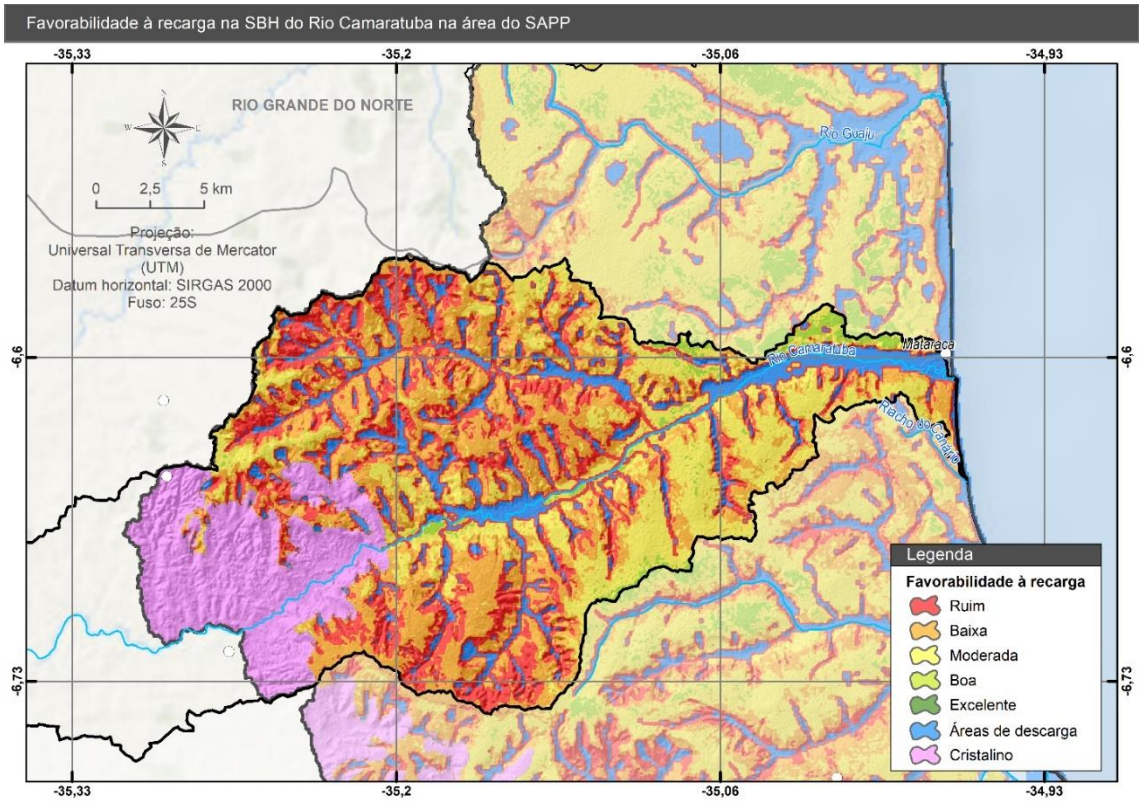


Figura 3.21 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Camaratuba.

Na bacia do Rio Camaratuba, observa-se que grande parte da área apresenta baixa (29,7%) e moderada (21%) favorabilidade para recarga. Uma porção significativa da bacia é coberta por áreas de descarga (19,3%) e embasamento cristalino (15,1%). A região com maior favorabilidade de recarga está próxima ao litoral, na divisa com a bacia do Rio Guaju, onde o solo é utilizado para agricultura e pastagem, além de haver baixas declividades; no entanto, essa área representa apenas 1,8% da extensão total da bacia.

3.3.2.3 Rio Mamanguape

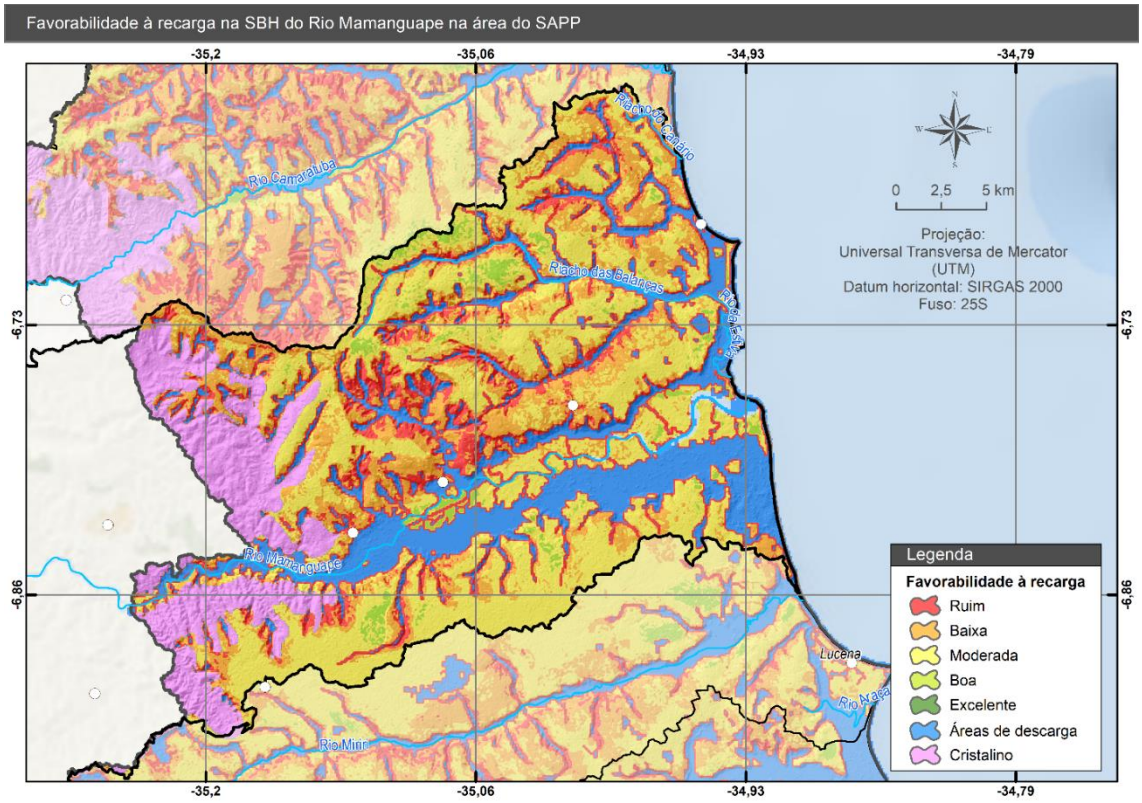


Figura 3.22 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Mamanguape.

Grande parte das áreas que compõem a bacia do Rio Mamanguape é classificada com baixa (20,9%) e moderada (33,3%) favorabilidade para a ocorrência de recarga subterrânea. A bacia apresenta poucas áreas com boa favorabilidade (3,2%), localizadas principalmente em uma região destinada à agricultura e pastagem, abrangendo o município de Mamanguape e cidades vizinhas. Cerca de um quarto da área (25,1%) é considerada como área de descarga dos aquíferos.

3.3.2.4 Rio Miriri

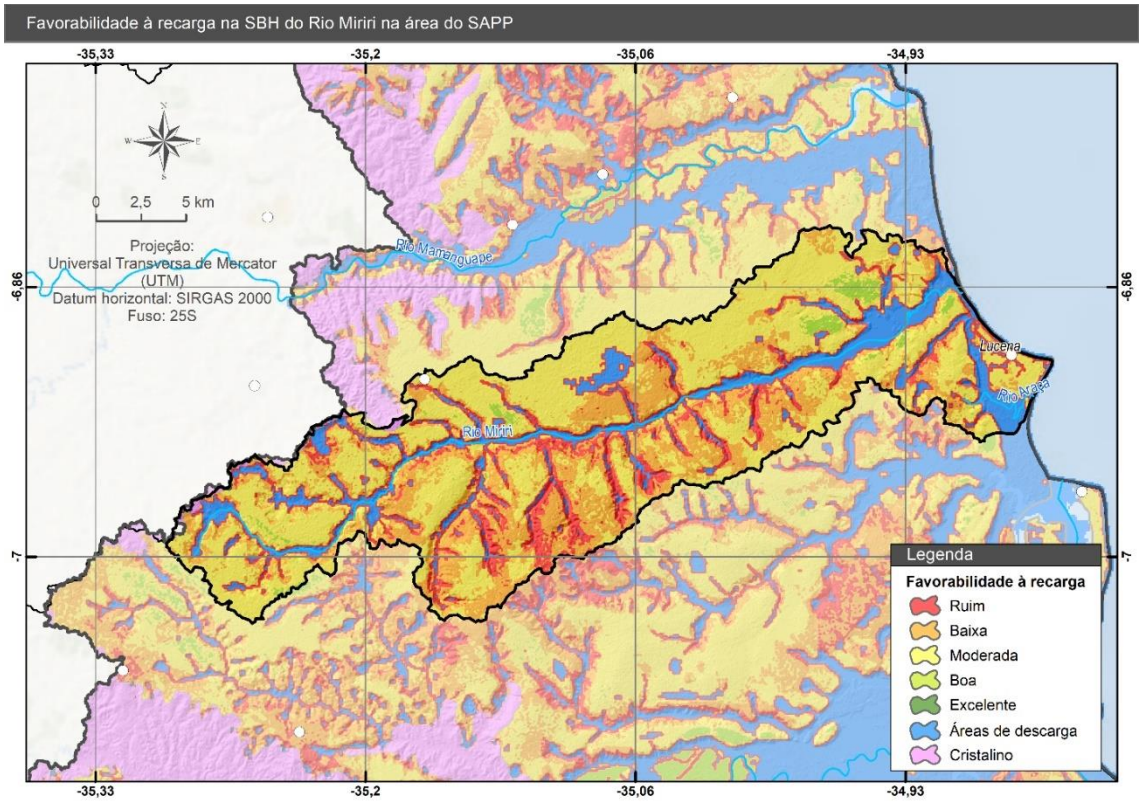


Figura 3.23 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Miriri.

A maior parte da área da bacia hidrográfica do Rio Miriri é classificada com moderada favorabilidade (45,1%) para a ocorrência de recarga subterrânea, em função das extensas áreas destinadas à agricultura. Além disso, observa-se uma grande porção da bacia com baixa favorabilidade (27,8%), enquanto as demais classes são pouco expressivas (<10%). As áreas de descarga representam 18,7% da extensão da bacia.

3.3.2.5 Baixo Rio Paraíba

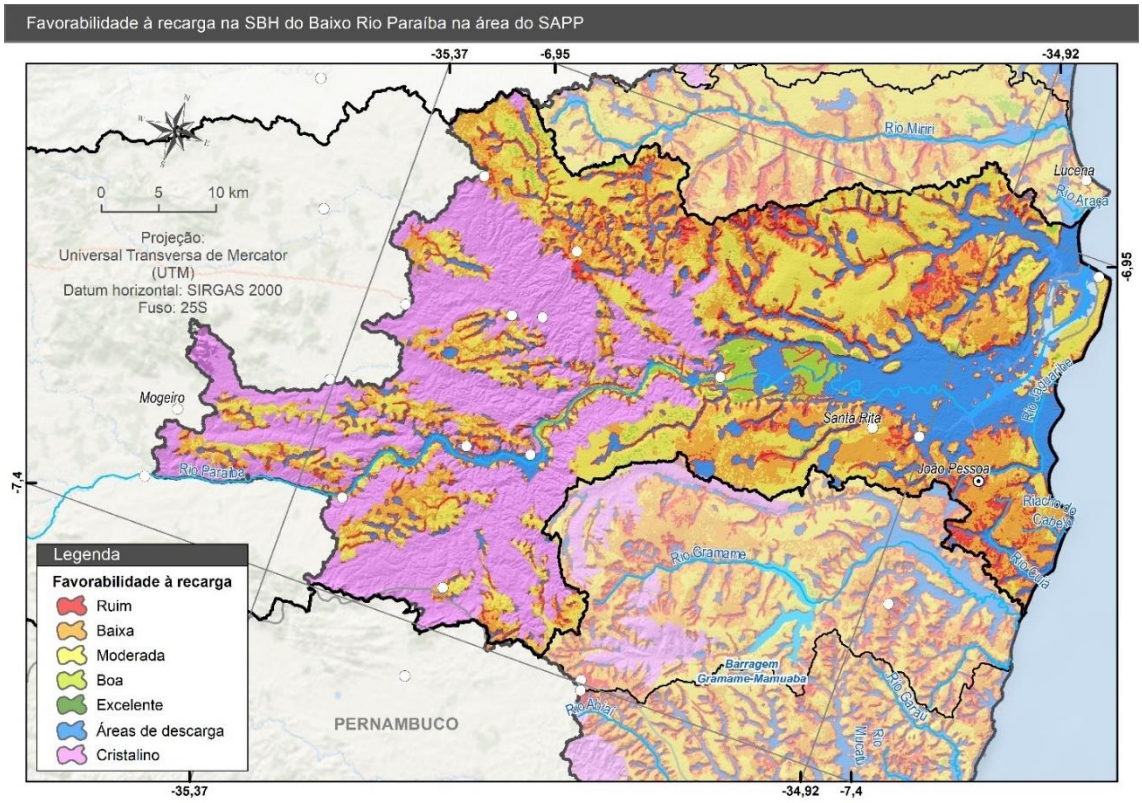


Figura 3.24 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do baixo Paraíba.

Embora a bacia hidrográfica do Baixo Rio Paraíba seja a maior bacia da área de estudo, uma grande parte dela — quase um terço da sua área — é composta por embasamento cristalino (27,1%), que não é considerado na análise de favorabilidade. Além disso, 23% da área corresponde a zonas de descarga.

A capital do estado da Paraíba, João Pessoa, localiza-se nesta bacia, onde há uma extensa área urbanizada e, consequentemente, maior impermeabilização do solo. Isso resulta em uma favorabilidade para recarga variando entre moderada (23,9%) e baixa (19,7%), com algumas áreas de favorabilidade ruim (3,5%). No entanto, ao considerar apenas a região urbanizada da bacia, a favorabilidade baixa aumenta para 47,7%, e a ruim para 9,8%, conforme apresentado no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Áreas favoráveis a ocorrência da recarga subterrânea para a região urbana de João Pessoa.

Áreas de descarga	Favorabilidade				
	Ruim	Baixa	Moderada	Boa	Excelente
28,3%	9,8%	47,7%	14,1%	0,1%	0,0%

3.3.2.6 Rio Gramame

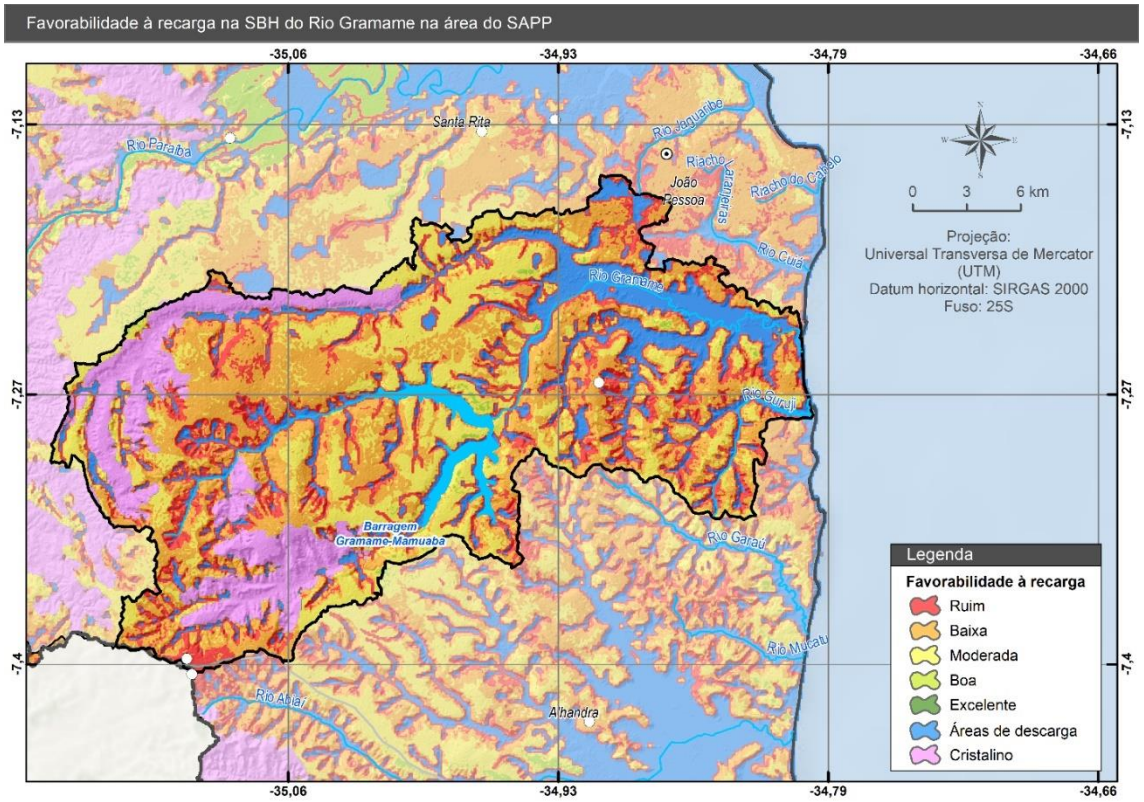


Figura 3.25 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Gramame.

O reservatório Mamuaba, localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, constitui um extenso corpo hídrico com condições favoráveis à recarga subterrânea. Essa favorabilidade é influenciada tanto pela interceptação da água da chuva pelo reservatório quanto pela presença de litologia predominantemente sedimentar. Além disso, as áreas agrícolas nas proximidades contribuem para esse cenário propício.

Contudo, é importante destacar que a influência dos reservatórios na recarga subterrânea depende de diversos fatores, conforme discutido no tópico anterior. Aproximadamente 40% da extensão da bacia apresenta condições desfavoráveis para recarga subterrânea, com 31,3% classificada como baixa e 8,1% como ruim. Essa

limitação é atribuída, em parte, à urbanização da bacia, que abrange uma pequena parcela das áreas urbanas de João Pessoa, o município de Conde e o distrito de Jacumã. Os 50% restantes estão distribuídos de forma semelhante entre áreas de descarga (23,7%) e áreas de moderada favorabilidade (24,8%).

3.3.2.7 Rio Abiaí

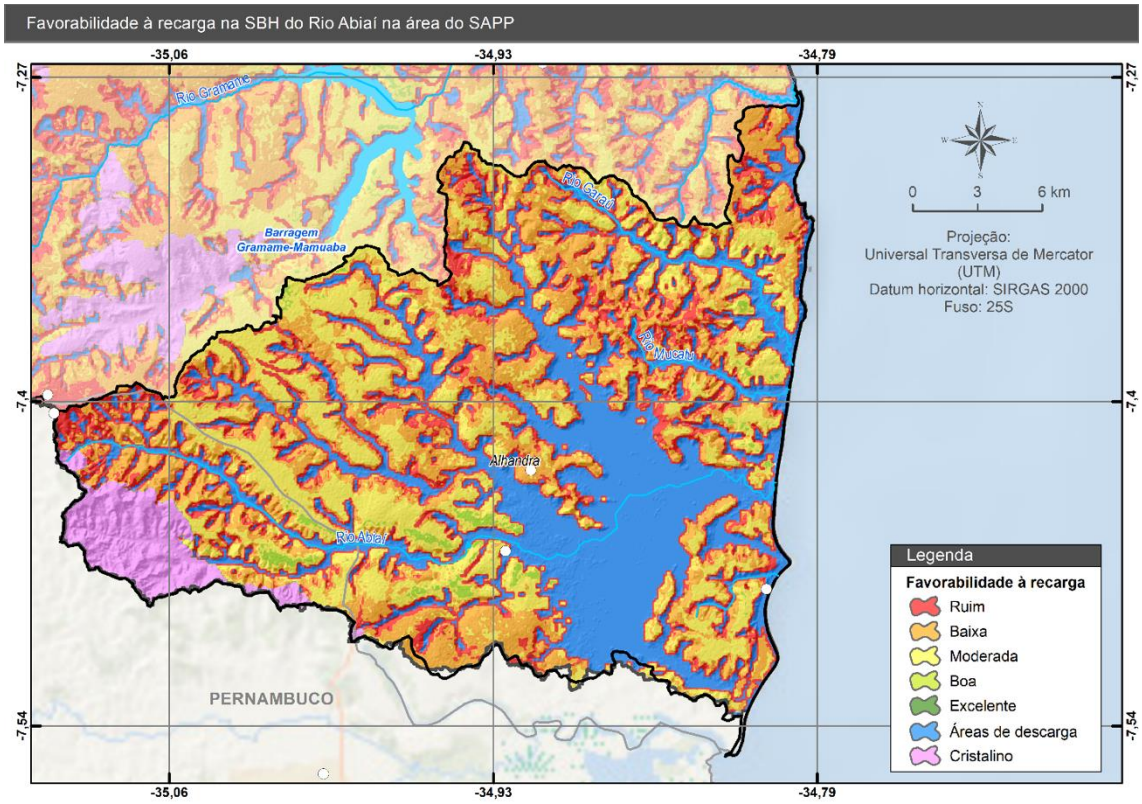


Figura 3.26 – Resultado das áreas de potencial recarga subterrânea para a bacia do Rio Abiaí.

Cerca de 50% da área é classificada com baixa (26,2%) e moderada (24,2%) favorabilidade para recarga subterrânea. As demais classes são menos representativas (<10%). Além disso, 36,9% da área é classificada como zona de descarga.

Em suma, de forma geral, as bacias hidrográficas dos rios Guaju, Mamanguape e Miriri destacam-se pela maior proporção de território com moderada favorabilidade à recarga subterrânea. Em contrapartida, nas bacias dos rios Gramame e Camaratuba predominam áreas de baixa favorabilidade. Vale ressaltar os resultados de boa favorabilidade encontrados nas bacias Guaju e Mamanguape, enquanto a bacia do Abiaí apresenta a maior área de descarga. É importante observar que todas as bacias

apresentaram menos de 1% de sua área total ocupada por condições de excelente favorabilidade para a ocorrência de recarga subterrânea.

Ressalta-se que a análise apresentada neste capítulo utilizou apenas fatores físicos para identificar locais com favorabilidade para recarga subterrânea. Isso não implica que essas áreas correspondam aos maiores índices quantitativos de recarga, pois esses índices dependem de outras variáveis climáticas e temporais que não foram abordadas nesta análise, mas serão detalhadas no capítulo 4.

3.4 POTENCIOMETRIA DO SAPP

3.4.1 *Generalidades*

A potenciometria do subsistema livre, incluindo a metodologia de elaboração, foi apresentada no item 2.2.7.4 de Diagnóstico e será aqui retomada com um aprofundamento na discussão. A potenciometria é uma técnica de representação gráfica bidimensional que descreve a distribuição das cargas hidráulicas em aquíferos, abrangendo tanto os confinados quanto os não confinados, revelando as variações na altura da água em relação ao *datum* de referência, comumente associado ao nível do mar.

Essa abordagem gráfica permite uma compreensão visual das condições hidráulicas do terreno, destacando as variações altimétricas da água subterrânea em diferentes pontos. A carga hidráulica, expressa como a altura da água em relação ao datum, é fundamental para caracterizar o comportamento dos aquíferos e compreender as interações entre o sistema aquífero e o ambiente circundante.

Ao aplicar a potenciometria, é possível mapear e analisar as zonas de pressão e potencial hidráulico, o que é essencial para entender a dinâmica da água subterrânea. Além disso, essa representação gráfica contribui para a identificação de áreas críticas, onde a recarga ou a descarga de água pode ter implicações significativas para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Os registros de nível de água em poços, essenciais para a análise potenciométrica, são influenciados por uma série de fatores complexos. Conforme destacado por Todd (1959), variações no armazenamento do aquífero são observadas em resposta à

retirada de água, um fenômeno diretamente relacionado às demandas de bombeamento. Além disso, o efeito da interferência do bombeamento entre poços também desempenha um papel significativo na dinâmica dos níveis de água subterrânea.

A evapotranspiração em aquíferos rasos é outro fator importante, pois pode influenciar a elevação ou a diminuição dos níveis de água. A resposta do aquífero às variações na recarga está intrinsecamente ligada a fatores climáticos, como as precipitações pluviométricas, sazonalidade e até mesmo variações na pressão atmosférica.

Conforme destacado por Fetter (2001), é crucial considerar as variações de nível de água em diferentes escalas, incluindo as condições de fluxo local, intermediário e regional. Isso significa que a potenciometria não apenas proporciona uma visão estática das condições do aquífero, mas também permite compreender as complexas interações entre os diversos componentes do sistema hidrogeológico.

Os estudos de Carnier Neto (2006) revelando ciclos sazonais distintos de recarga e descarga, destaca a influência significativa das chuvas nesse sistema hidrogeológico, com ciclos de recarga claramente associados às precipitações sazonais. Esses eventos sazonais são cruciais para entender a resposta do aquífero às condições climáticas, evidenciando a importância das recargas provenientes das águas pluviais.

Além disso, também ocorrem variações adicionais relacionadas ao efeito de maré terrestre, revelando dois ciclos diários distintos. Notavelmente, as variações apresentam amplitudes mais expressivas durante os períodos de lua cheia e lua nova, enquanto são menos pronunciadas nas fases lunares de crescente e minguante. Esse fenômeno sugere uma clara influência das fases lunares nas variações do nível de água do aquífero, indicando uma resposta sensível às forças de maré terrestre.

Os aquíferos livres desempenham um papel crucial, sustentando o fluxo subterrâneo que, por sua vez, mantém o escoamento dos cursos de água superficiais durante os períodos de estiagem, um fenômeno conhecido como fluxo de base. A configuração da superfície livre desses aquíferos, conforme observado por Fetter (2001), muitas vezes reflete a topografia da superfície terrestre, especialmente em regiões úmidas, como é o caso do SAPP.

Fetter (2001) destaca que áreas topográficas elevadas possuem maior potencial de energia, sugerindo que o fluxo subterrâneo superficial tende a seguir o sentido das drenagens, movendo-se das porções mais elevadas para as menos elevadas do terreno. Essa compreensão é essencial para a análise do comportamento hidrogeológico em ambientes diversos, onde as características topográficas desempenham um papel fundamental na dinâmica da água subterrânea.

Custódio e Llamas (1996) destacam a necessidade de levar em consideração as flutuações temporais nos níveis dos aquíferos ao definir a superfície potenciométrica. A representação da superfície potenciométrica deve ser limitada a um intervalo de tempo relativamente curto, a fim de evitar a inclusão de variações significativas que possam distorcer as interpretações. Portanto, é crucial ter cautela para prevenir imprecisões na delineação da superfície potenciométrica, especialmente ao empregar dados de diferentes períodos.

No contexto específico da área de estudo, a determinação da potenciometria do SAPP contou com a utilização de 80 registros de nível estático de poços, conforme apresentado por Costa *et al.* (2007). Esses dados foram selecionados para o estudo da potenciometria do SAPP por terem sido coletados no mesmo período, o que evita distorções que possam ser causadas por variações sazonais dos níveis dos aquíferos, conforme destacado por Fetter (2001). Além disso, os níveis estáticos medidos por Costa *et al.* (2007) abrangem poços com diferentes profundidades e em diferentes condições hidrogeológicas, variando de livres a semiconfinadas/confinadas.

O Quadro 2.55, apresenta as informações dos 80 poços mencionados. Essa abordagem integrada proporciona uma compreensão mais abrangente da potenciometria na área de estudo, considerando a heterogeneidade das condições do aquífero.

3.4.2 *Análise dos registros de níveis estáticos de poços cadastrados*

A fim de selecionar os poços medidos por Costa *et al.* (2007) e separá-los entre os que captam água de aquíferos livres e aqueles que capturam água de aquífero confinado, lançou-se mão da relação que ocorre entre a superfície potenciométrica dos aquíferos superficiais (livres) e a altitude do terreno, que é frequentemente evidenciada pela existência de uma correlação aproximadamente linear nos dados de altitude versus cota

do nível de água. Esta observação decorre do controle exercido pela topografia sobre a distribuição das cargas hidráulicas nesses aquíferos, refletindo a influência direta da elevação do terreno na superfície potenciométrica.

Entretanto, a dinâmica é diferente para os aquíferos confinados, nos quais a carga hidráulica não é controlada pela topografia, ou seja, não se verifica uma correlação linear com baixa dispersão de dados entre a altitude do terreno e a cota do nível estático (NE). O mesmo vale para aquíferos semiconfinados em razão da complexidade e arranjo entre camadas confinantes e camadas aquíferas desses sistemas, sob diferentes condições de pressão, que resultam em distribuições com alta dispersão de dados.

As correlações entre a altitude do terreno e a cota do NE para o conjunto de poços levantados por Costa *et al.* (2007) e apresentados no diagnóstico, revelaram uma tendência geral positiva, indicando que, em termos gerais, conforme a altitude do terreno aumenta, a cota do NE também tende a aumentar. No entanto, a grande dispersão dos pontos sugere que as cargas hidráulicas são de natureza diversa.

Essa diversidade pode ser atribuída a diferentes condições geológicas e hidrogeológicas dos poços amostrados, enfatizando a complexidade intrínseca na distribuição das cargas hidráulicas em áreas heterogêneas. Sendo assim, optou-se por empregar o mesmo tipo de análise, porém separando os 80 poços analisados em dois grupos distintos:

- um conjunto representado por níveis estáticos menores ou iguais a 15 m (níveis rasos);
- um conjunto representado por níveis estáticos maiores do que 15 m.

O gráfico da Figura 3.27 apresenta uma correlação entre a altitude do terreno e cota do NE, separadamente para cada um dos conjuntos de dados.

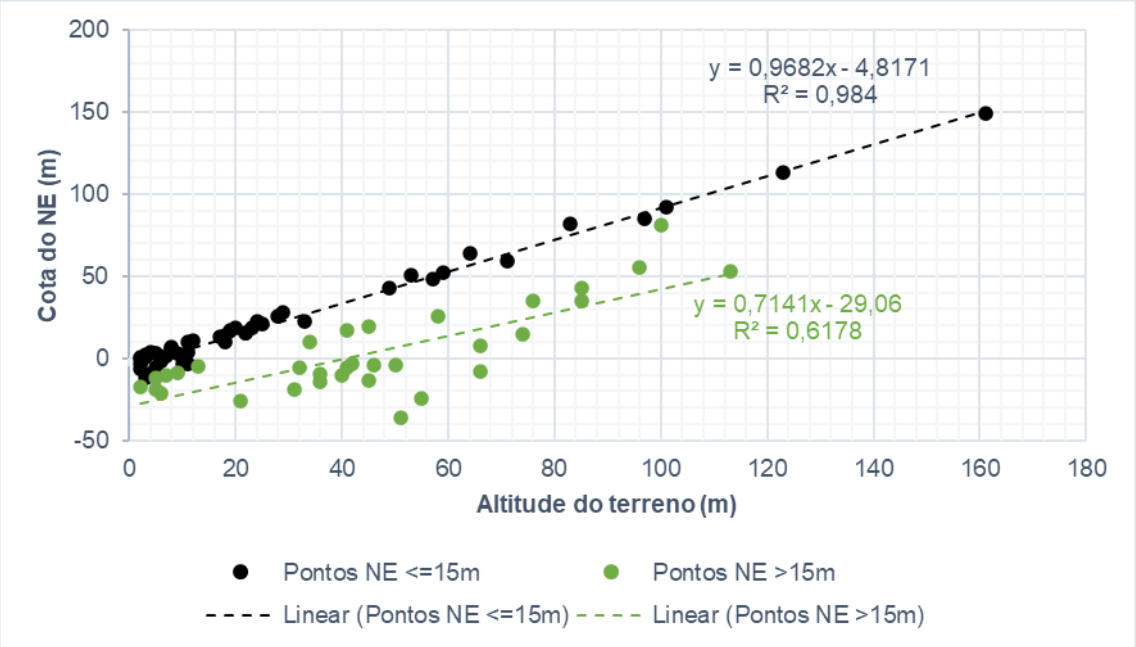


Figura 3.27 – Correlação altitude do terreno versus cota do NE com filtro para pontos com NE≤ a 15 m e NE > 15 m.

No primeiro conjunto, caracterizado por níveis estáticos menores ou iguais a 15 m, observa-se uma correlação linear positiva com um ajuste robusto de 98%. Essa correlação forte sugere um controle topográfico significativo sobre esses níveis estáticos, indicando que correspondem a aquíferos livres. Esses aquíferos são associados às unidades hidroestratigráficas Barreiras e Coberturas Sedimentares, evidenciando a relação direta entre a topografia do terreno e a superfície potenciométrica nas áreas onde a água subterrânea está mais próxima da superfície.

Por outro lado, o segundo conjunto, representando níveis estáticos maiores do que 15 m, exibe uma grande dispersão de pontos e um ajuste linear mais modesto, atingindo apenas 62%. Essa dispersão e o ajuste mais fraco sugerem um controle topográfico mais tênue sobre esses níveis estáticos. A análise desse conjunto indica que esses níveis não correspondem a aquíferos livres e, portanto, podem refletir condições hidrogeológicas mais complexas, como a presença de camadas confinadas ou semiconfinadas. Essa diferenciação entre os conjuntos destaca a importância de considerar a heterogeneidade hidrogeológica ao interpretar dados potenciométricos.

A análise foi estendida para incluir um conjunto de poços com profundidade de até 50 m, integrantes do cadastro do SIAGAS, proporcionando informações adicionais sobre a

relação entre a altitude do terreno e a cota do NE. No caso desses poços, a análise revelou uma correlação linear positiva significativa, com um ajuste muito forte de 98,9%, conforme evidenciado na Figura 3.28. Essa forte correlação indica claramente a predominância de aquíferos livres, onde a altitude do terreno exerce um controle significativo sobre a superfície potenciométrica.

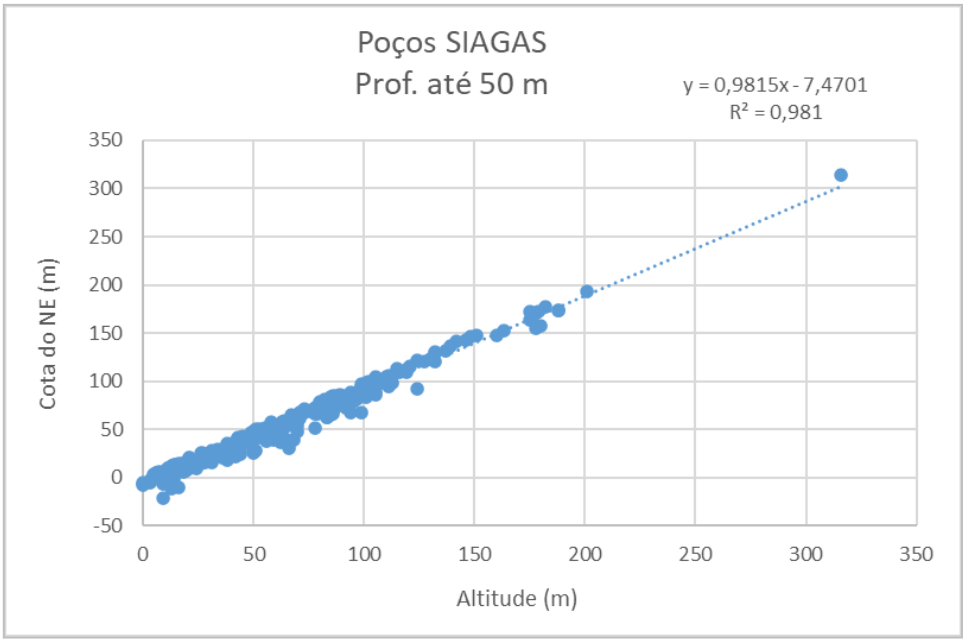


Figura 3.28 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 256 poços com profundidades de até 50 m (cadastro SIAGAS).

Por outro lado, ao considerar o conjunto de poços com mais de 100 m de profundidade, a correlação entre a altitude do terreno e a cota do NE exibe uma grande dispersão de pontos e uma correlação com ajuste inferior a 50%, conforme ilustrado na Figura 3.29. Esses resultados indicam que esses poços não estão associados a aquíferos livres, sugerindo condições hidrogeológicas mais complexas ou confinadas. A fraca correlação destaca a influência limitada da topografia no controle dos níveis estáticos dos aquíferos mais profundos.

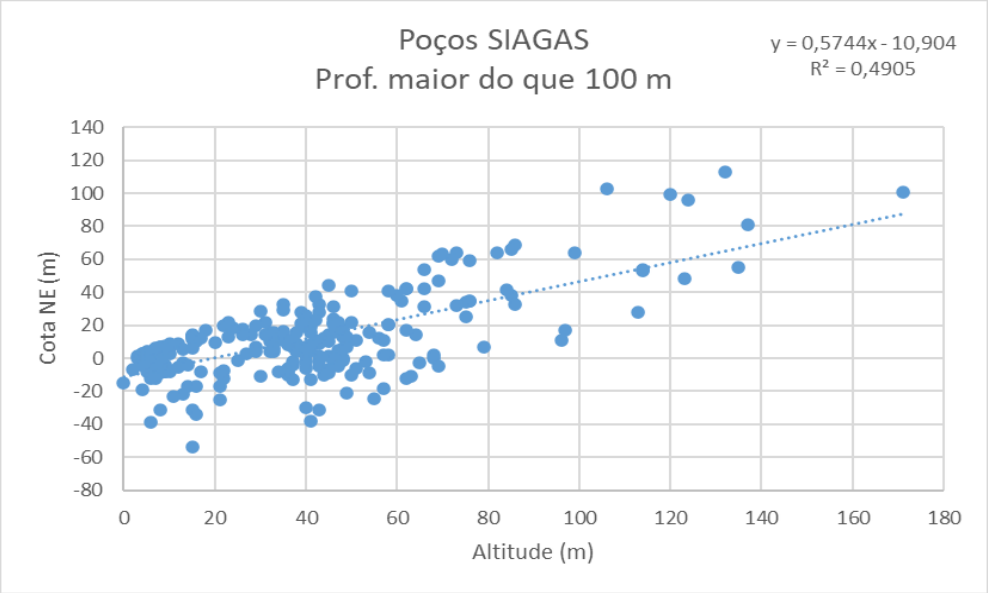


Figura 3.29 – Correlação entre a altitude do terreno e cota do NE para 399 poços com profundidades maiores do que 100 m (cadastro SIAGAS).

Este tipo de análise mostra-se importante para auxiliar na distinção entre poços perfurados nos subsistemas livre e confinado.

3.4.3 *Mapa potenciométrico do subsistema livre*

Com base nos resultados obtidos na análise anterior, foi possível elaborar o mapa potenciométrico para os aquíferos livres rasos. O método utilizado envolveu a aplicação da equação derivada da correlação dos dados apresentados na Figura 3.27 (y= 0,968–x - 4,8171) a cada pixel do *raster* do Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo.

O método empregado tem sido utilizado com frequência em vários estudos porque trata-se de método estatístico que exige uma amostragem pequena de dados e permite extrapolar informações para todo o grid da área de estudo, além de ser hidrogeologicamente correto, ou seja, ajustado com as drenagens (zonas de descarga) do terreno (ANA, 2017b; ANA, 2018).

As equipotenciais traçadas no mapa da Figura 3.30 foram representadas por isolinhas equidistantes 50 m, extraídas do *raster* de cargas hidráulicas, com emprego de ferramentas de geoprocessamento. O mapa potenciométrico resultante mostra que o fluxo subterrâneo se dirige dos pontos mais elevados para os pontos mais deprimidos

do terreno, coincidentes com os talvegues dos cursos de água superficiais, ou seja, dos pontos de recarga para os pontos de descarga.

Nesse cenário, são produzidos numerosos subsistemas de fluxo locais, governados pela conformação topográfica do terreno, mostrando direções de fluxo no sentido dos cursos de água superficiais, para onde as águas subterrâneas são descarregadas. Os subsistemas de fluxo locais mostram forte conexão com as águas superficiais e são influenciados diretamente pelas precipitações atmosféricas, que são responsáveis pelas oscilações da carga hidráulica e mudanças no gradiente de fluxo. Considerando a escala da rede hidrográfica utilizada neste estudo (1:50.000), foram identificados por geoprocessamento 2.483 subsistemas de fluxo local, cada um composto por um trecho de drenagem específico. Esses subsistemas são representados por microbacias e estão presentes em todas as porções do terreno onde se encontram aquíferos rasos livres.

Na escala de bacias hidrográficas, os fluxos locais originados nos aquíferos livres são controlados pelos grandes divisores hidrogeológicos, aproximadamente concordantes com os divisores topográficos que marcam os limites dessas bacias. Esses divisores hidrogeológicos restringem o movimento da água subterrânea aos domínios específicos da bacia hidrográfica, impedindo a transferência de águas subterrâneas de uma bacia para outra sob tais condições. Evidentemente, o movimento da água subterrânea difere sob condições de fluxo regional, como é discutido no item seguinte.



Figura 3.30 – Potenciometria e direções de fluxo do subsistema livre do SAPP.

Nota: Este mapa está apresentando em sua forma reduzida no texto, mas foi elaborado em tamanho A0. Sua versão original está sendo entregue como Anexo IX.

3.4.4 *Análise da potenciometria do subsistema livre nas bacias hidrográficas da área de estudo*

3.4.4.1 Análise da Potenciometria na Bacia do rio Guaju

Na bacia do Rio Guaju, a potenciometria varia de 153 m a 18 m de carga hidráulica (Figura 3.31). O gradiente de fluxo é mais acentuado na metade oeste da bacia hidrográfica, enquanto a região leste, próxima ao litoral, apresenta uma ampla área com carga hidráulica inferior a 25 m. Essa área inclui os rios Guaju, Pau-Brasil e o Riacho do Carreiro. Próximo ao litoral, são observadas zonas com carga hidráulica superior a 50 m, indicando regiões com potencial de descarga da água em direção aos cursos d'água.

Na porção sul da bacia do Rio Guaju encontra-se a bacia do Rio Camaratuba. Na fronteira oeste entre ambas, ocorrem valores mais altos de carga hidráulica, que se reduzem progressivamente em direção ao leste, rumo ao mar; ao norte, em direção ao interior da bacia do Rio Guaju; e ao sul, em direção ao interior da bacia do Camaratuba

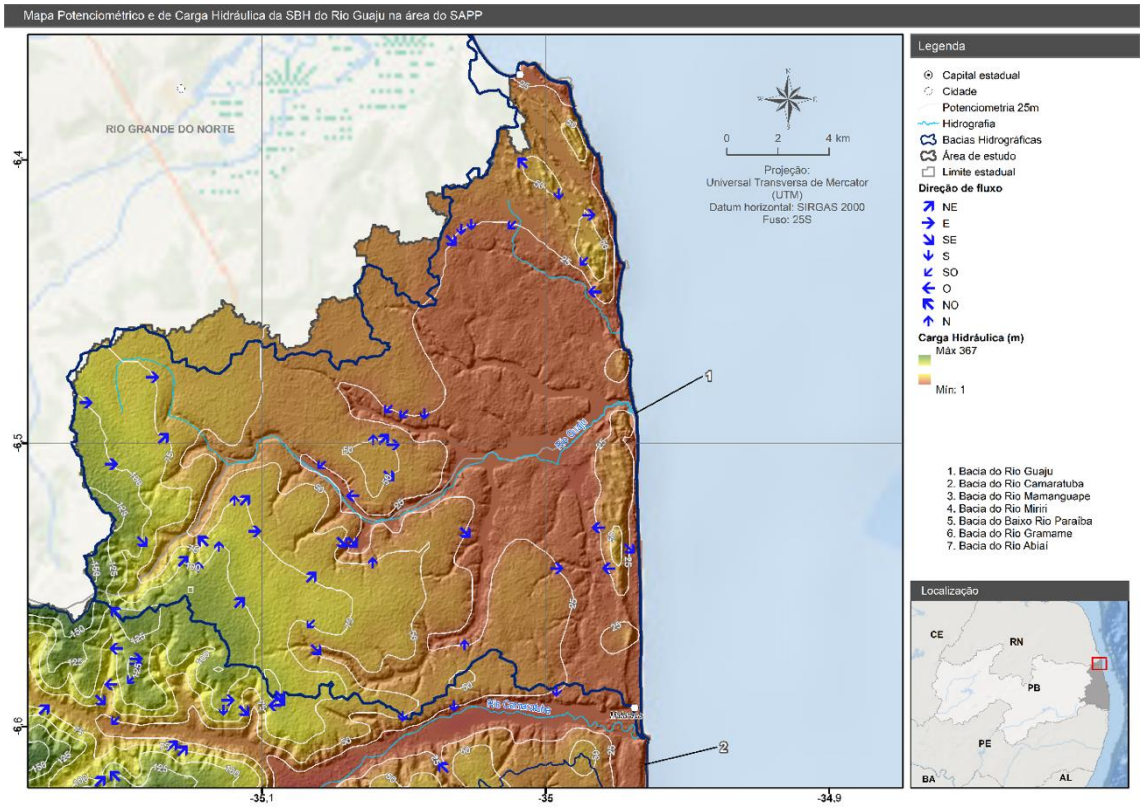


Figura 3.31 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Guaju.

3.4.4.2 Análise da Potenciometria na Bacia do rio Camaratuba

A bacia do Rio Camaratuba faz fronteira ao sul com a bacia do Rio Mamanguape. Na porção oeste da área de fronteira entre essas bacias, observa-se um potencial hidráulico superior a 175 m (Figura 3.32). Nessa região de fronteira, a direção predominante do fluxo é de sul para norte em direção ao interior da bacia do Rio Camaratuba e de norte para sul em direção ao interior da bacia do Rio Mamanguape. As linhas equipotenciais de fluxo acompanham o contorno da drenagem principal, que inclui os rios Camaratuba e Pitanga. Na região do município de Pedro Régis, registram-se as maiores cargas hidráulicas, que chegam a superar os 200 m.

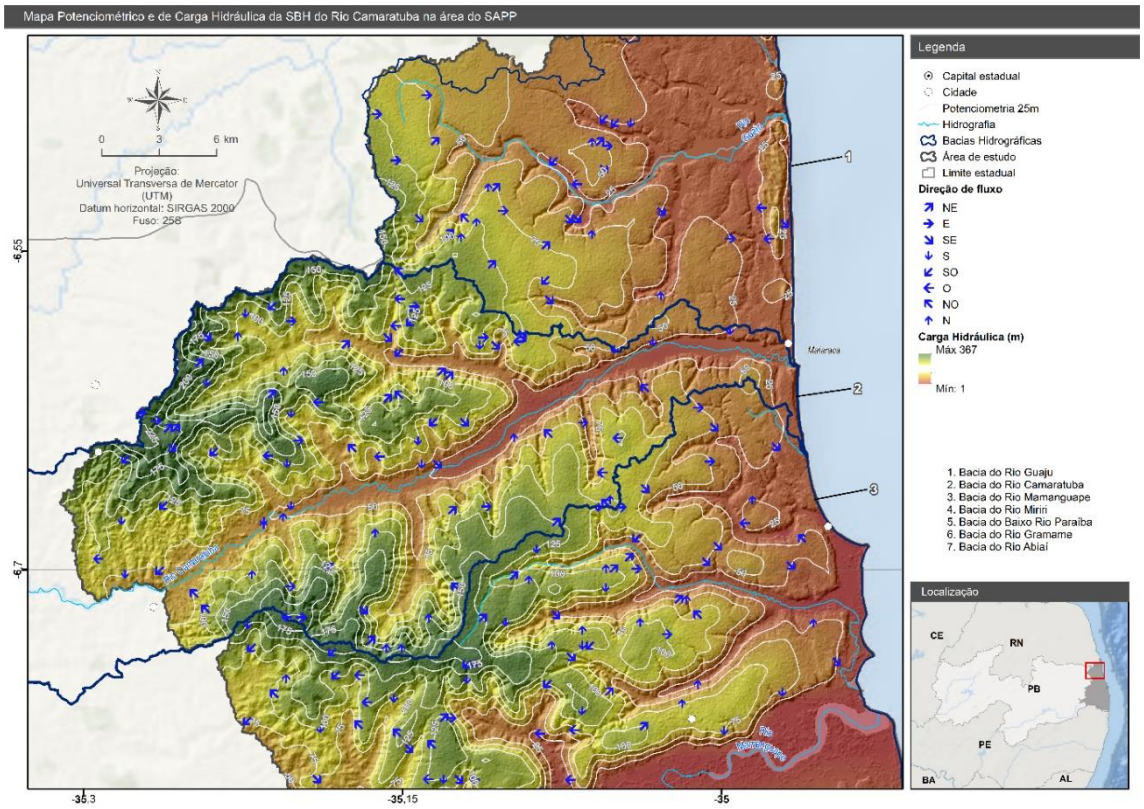


Figura 3.32 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Camaratuba.

3.4.4.3 Análise da Potenciometria na Bacia do rio Mamanguape

Na bacia hidrográfica do Rio Mamanguape, as cargas hidráulicas são bastante elevadas na região de fronteira com a bacia do Rio Camaratuba, variando entre 150 e 175 m. Essa carga diminui em direção ao sul da bacia, atingindo os menores valores nos arredores do Rio Mamanguape, que se estende até o mar, formando uma ampla faixa

de oeste a leste com baixo potencial hidráulico (inferior a 25 m). Essa região constitui uma extensa área de descarga subterrânea, conforme detalhado na Figura 3.33.

A porção sul da bacia, que faz fronteira com a bacia do Rio Miriri, apresenta cargas hidráulicas mais baixas em comparação com a porção norte. As direções de fluxo na fronteira entre as bacias são predominantemente para o norte, em direção ao interior da bacia do Rio Mamanguape.

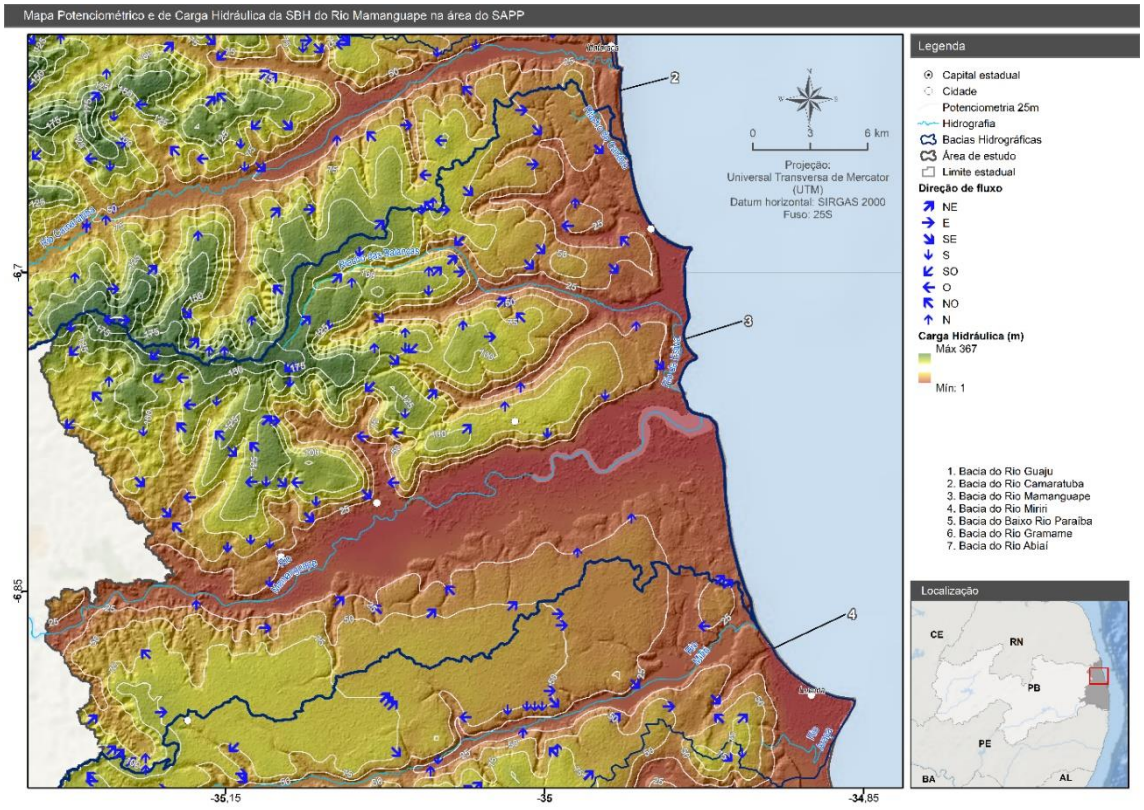


Figura 3.33 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Mamanguape.

3.4.4.4 Análise da Potenciometria na Bacia do rio Miriri

Na bacia do Rio Miriri, observa-se uma concentração significativa de áreas com alto potencial hidráulico, variando entre 150 e 175 m, principalmente na região sul, que faz fronteira com a bacia do Baixo Rio Paraíba (Figura 3.34). As áreas de baixo potencial hidráulico (<25 m), que correspondem a zonas de descarga dos aquíferos, encontram-se encaixadas no estreito vale do Rio Miriri.

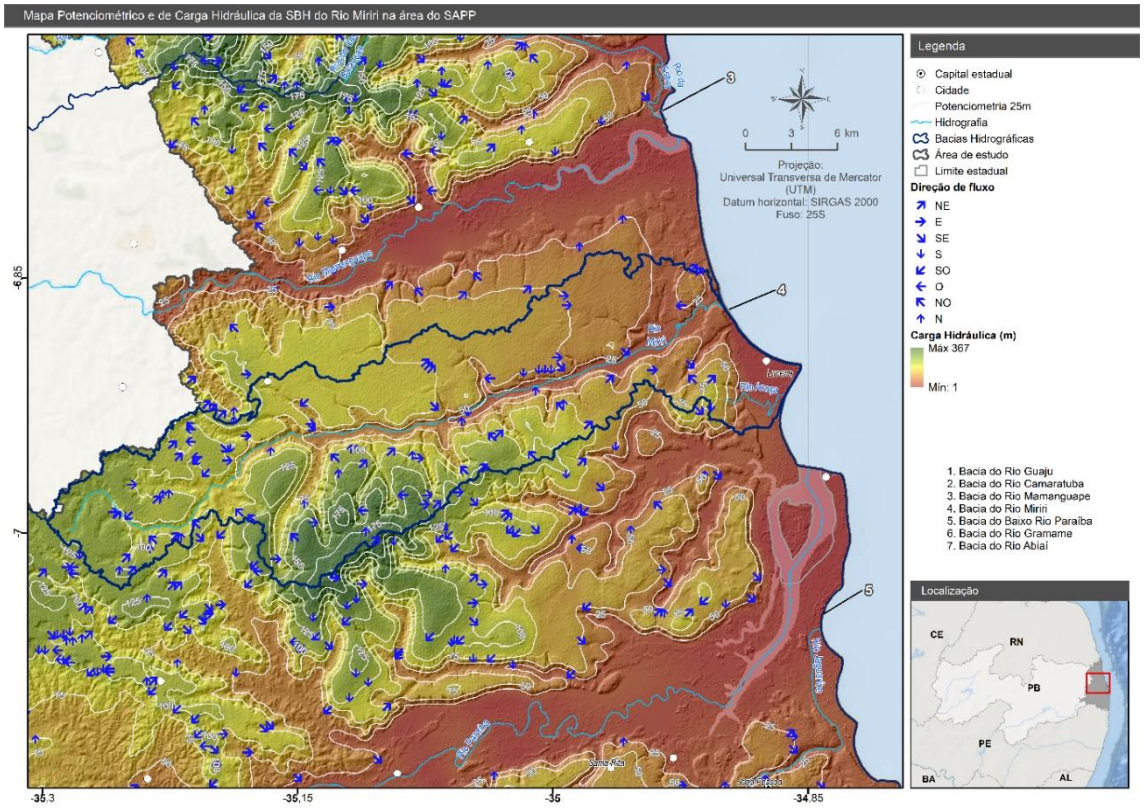


Figura 3.34 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Miriri.

3.4.4.5 Análise da Potenciometria na Bacia do Baixo Paraíba

A bacia do Rio Baixo Paraíba possui uma extensa área com baixas cargas hidráulicas (Figura 3.35). A porção norte da bacia, que faz fronteira com a bacia do Rio Miriri, apresenta áreas de alto potencial hidráulico, que diminuem em direção ao sul. A direção de fluxo prioritária segue para essa ampla planície do Rio Baixo Paraíba, que se estende de oeste até o mar.

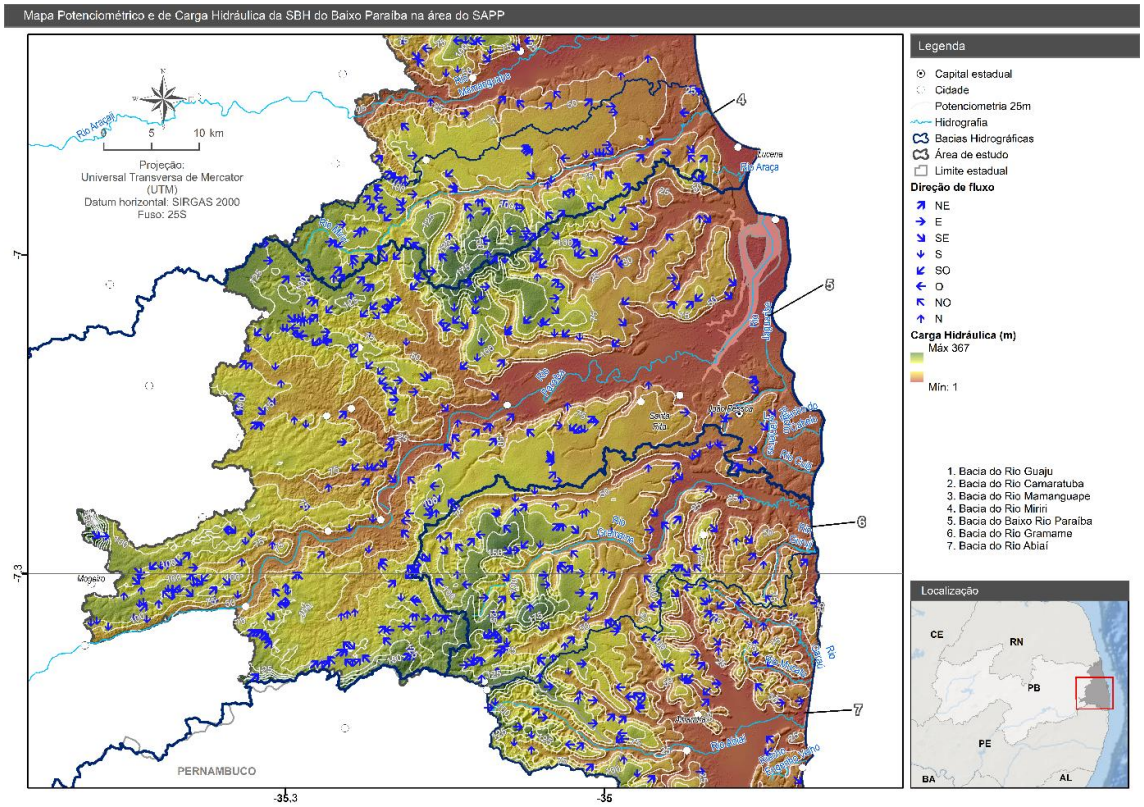


Figura 3.35 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Baixo Paraíba.

Para uma análise mais detalhada da região de João Pessoa, considerando sua importância, é apresentado um mapa com zoom na área de conurbação (Figura 3.36). Nesse mapa específico, foram aplicadas isolinhas de potenciometria com intervalos de 10 m. Observa-se que a carga hidráulica varia de 70 m nas áreas mais afastadas do mar até 10 m nas regiões costeiras. Assim, a direção de fluxo preferencial é da área mais central do adensamento urbano em direção ao mar, com algumas ocorrências de fluxo para o oeste, devido a uma região de cargas mais baixas na porção centro-oeste da conurbação.

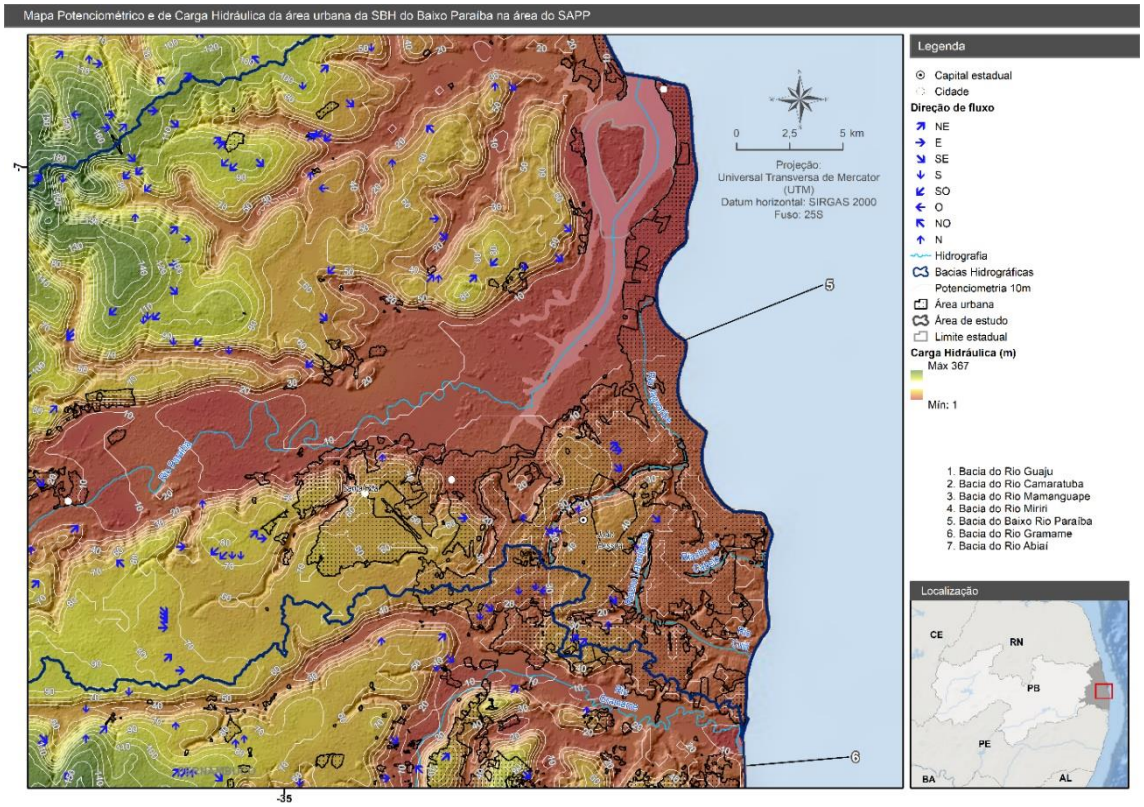


Figura 3.36 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Baixo Paraíba na região da conurbação de João Pessoa.

3.4.4.6 Análise da Potenciometria na Bacia do rio Gramame

A bacia do Rio Gramame apresenta uma variada distribuição de potenciometria. Na cabeceira da bacia, localizada na região oeste, os potenciais máximos alcançam cerca de 150 m de carga hidráulica (Figura 3.37). Os gradientes hidráulicos orientam-se em direção às várias drenagens que convergem para formar o Rio Gramame, o qual, por sua vez, deságua no mar. Esse encontro ocorre em uma região de planície, onde a carga hidráulica é inferior a 25 m.

Ao sul, a bacia do Rio Gramame faz fronteira com a bacia do Rio Abiaí. Nessa região de fronteira, as cargas hidráulicas ficam em torno de 125 m, diminuindo gradualmente conforme avançam para o interior das bacias. A direção preferencial do fluxo é para o norte ao adentrar os limites da bacia do Rio Gramame e para o sul ao adentrar os limites da bacia do Rio Abiaí.

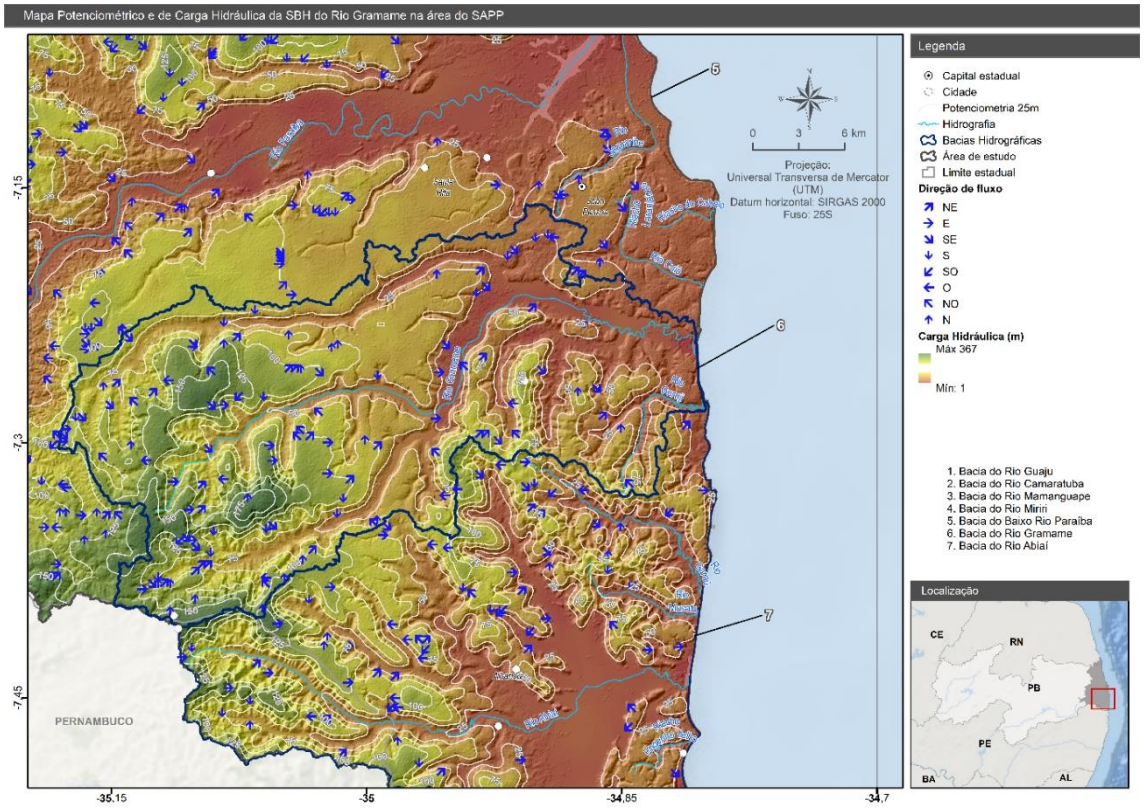


Figura 3.37 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Gramame.

3.4.4.7 Análise da Potenciometria na Bacia do rio Abiaí

A bacia do Rio Abiaí caracteriza-se pela presença de uma extensa área com baixas cargas hidráulicas. Mesmo as regiões de maior potencial hidráulico (Figura 3.38), quando comparadas ao restante do SAPP, apresentam valores relativamente baixos, em torno de 125 m. A região sul da bacia faz fronteira com a área de estudo, com potenciais hidráulicos em torno de 100 m, que diminuem gradualmente de sul para norte à medida que adentram a bacia.

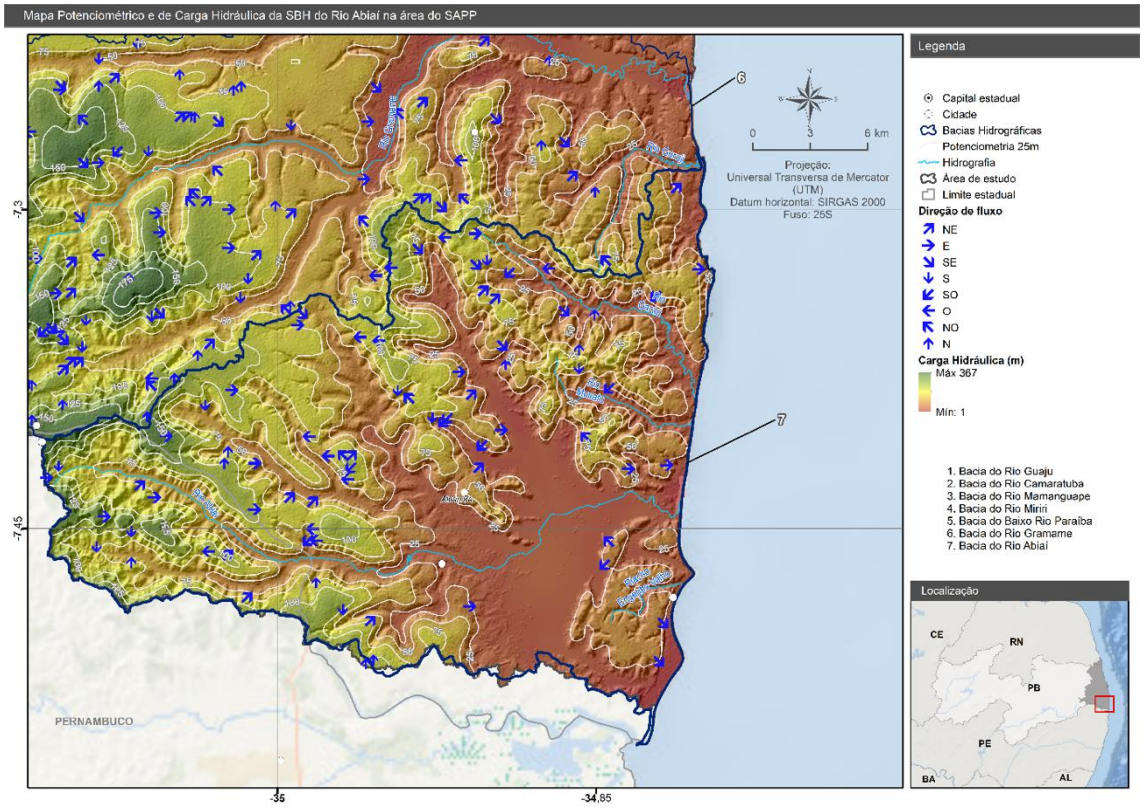


Figura 3.38 – Potenciometria e direções de fluxo na bacia hidrográfica do rio Abiaí.

3.4.5 *Mapa potenciométrico do subsistema confinado*

A potenciometria do subsistema confinado da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba é bastante complexa e de difícil definição com base nos dados hidrogeológicos existentes. As cargas hidráulicas diferenciais comumente constatadas nesse sistema, em áreas contíguas, são indicativas da presença de camadas confinantes ou mesmo semiconfinantes, intercaladas aos aquíferos. Essa situação não permite estabelecer uma potenciometria única para o subsistema confinado/semiconfinado, pois as cargas hidráulicas mensuradas não correspondem exatamente à mesma camada aquífera.

O lento movimento das águas subterrâneas desse subsistema, infiltradas em profundidade a partir de áreas de recarga mais distantes, é governado pelo fluxo regional. Os fluxos regionais são pouco afetados por variações sazonais de recarga, o que favorece a manutenção do escoamento subterrâneo e, consequentemente, a descarga dos rios em bacias hidrográficas distantes (EBERTS e GEORGE, 2000). Em outras palavras, deve-se admitir que, potencialmente, nem toda recarga que se

processa efetivamente no interior do contorno topográfico de uma dada bacia, pode ser mensurável na mesma bacia.

Essa situação pode ser exemplificada pela Figura 3.39, na qual o autor destaca não apenas os fluxos locais e regionais, mas também identifica um fluxo intermediário. Como é possível observar, tanto o fluxo intermediário quanto o regional direcionam suas águas para bacias distantes de seus pontos de recarga. Nas áreas de descarga dos fluxos regionais, a água subterrânea pode se apresentar mais mineralizada e relativamente mais aquecida em comparação com o padrão normal, devido ao maior tempo de trânsito e à maior profundidade das linhas de fluxo no aquífero.

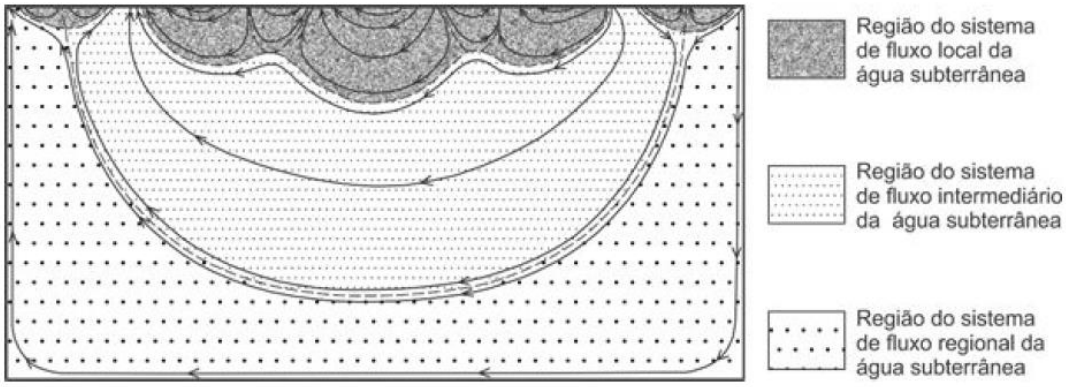


Figura 3.39 – Sistemas locais, intermediários e regionais de fluxo de água subterrânea (FREEZE e CHERRY, 1979).

A determinação da configuração da potenciometria da superfície natural ou original do subsistema confinado do SAPP é uma tarefa complexa, uma vez que que o sistema se encontra atualmente no estágio de desenvolvimento – ou seja, no estágio em que a explotação da água subterrânea passa a afetar o equilíbrio natural do sistema hidrogeológico e causa descensos de níveis por conta das interferências provocadas pelo bombeamento de poços.

Como exemplo da complexidade no traçado das equipotenciais do subsistema confinado, podem ser mostrados os mapas potenciométricos elaborados com dados de Costa *et al.* (2007) e do Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017) (Figura 3.40). Esses mapas replicam as superfícies potenciométricas publicadas pelos citados autores, correspondentes a dois períodos diferentes, com emprego de pontos de medição diferentes, abrangendo diferentes áreas e sob interferência de poços em bombeamento. O mapa de Costa *et al.* (2007) representa o sistema Barreiras/Beberibe, sem distinção entre os subsistemas livre

e confinado; o mapa do Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017) representa somente o subsistema confinado. Os resultados em termos de espacialização e valores das cargas hidráulicas distribuídas nas duas figuras citadas são desiguais e retratam as particularidades envolvidas na elaboração de cada um dos mapas potenciométricos.

Com o propósito de atender aos Termos de Referência do presente estudo e fundamentado em estudos previamente publicados na região do SAPP, foram cuidadosamente selecionados, a partir do banco de dados deste estudo, os poços localizados dentro do perímetro identificado como área de ocorrência do Aquitardo Gramame. Esses poços apresentam profundidades mínimas de 100 metros e foram escolhidos com base em análises que relacionam a altitude do terreno com a cota do nível estático, evidenciando a presença de aquíferos confinados a semiconfinados, os quais fazem parte do subsistema Beberibe.

Os dados de carga hidráulica registrados na documentação dos poços foram interpolados com auxílio da ferramenta *Topo To Raster* do *software ArcGIS* e o *raster* da superfície potenciométrica resultante do subsistema confinado é mostrado na Figura 3.41. Nessa representação visual, é possível identificar as regiões com cargas negativas e positivas, além de observar as múltiplas direções de fluxo da água subterrânea nas camadas subjacentes ao Aquitardo Gramame. Essas características são predominantemente influenciadas pelas interferências causadas pelo rebaixamento da superfície potenciométrica, resultante da extração de água subterrânea pelos poços. A retirada de água subterrânea pode resultar no deslocamento de água salgada para o interior do aquífero, dependendo da extensão do cone de rebaixamento e da magnitude dos descensos provocados.

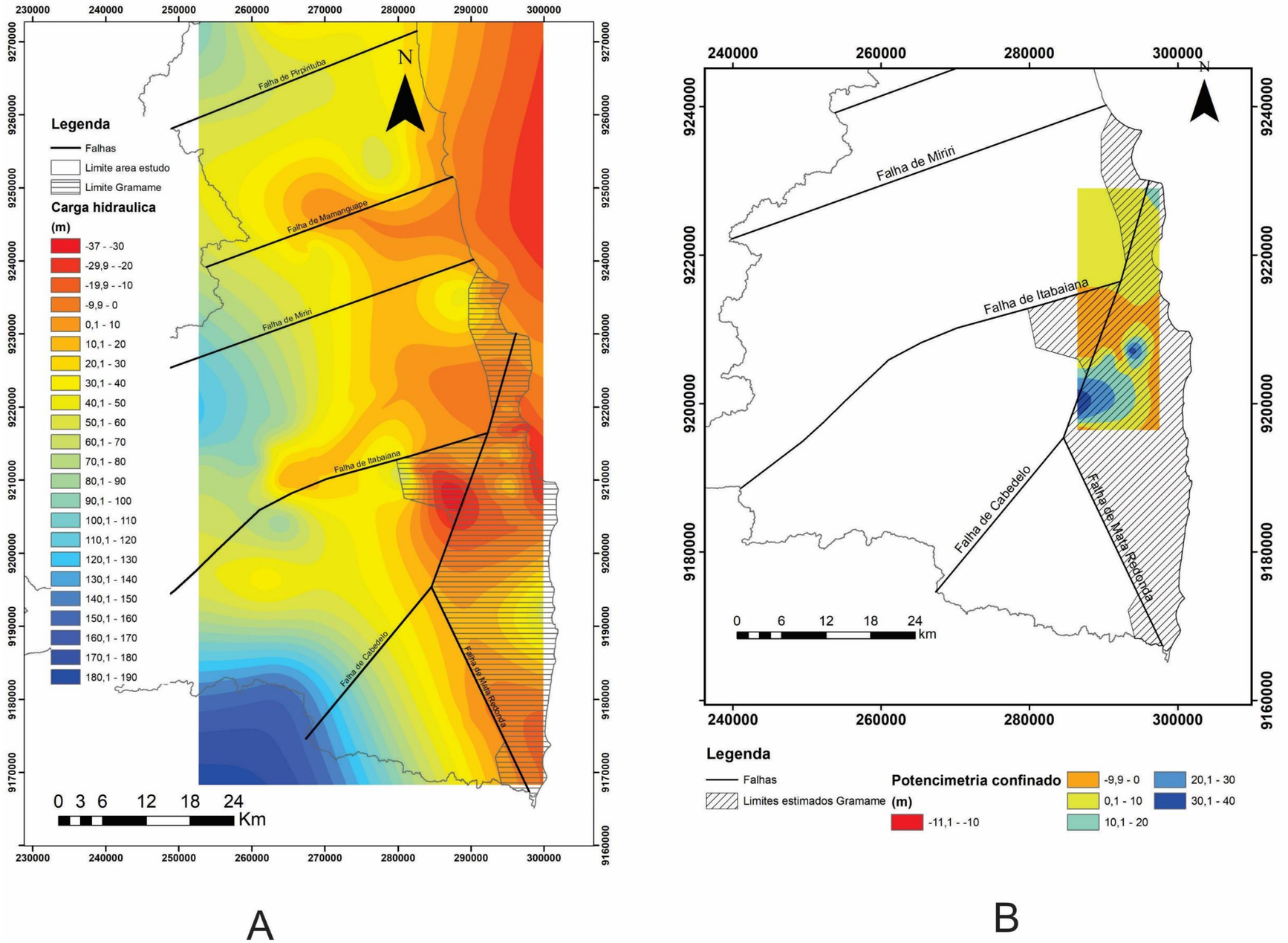


Figura 3.40 – A: Mapa potenciométrico do SAPP elaborados por Costa *et al.* (2007); B: Mapa potenciométrico do subsistema confinado elaborado pelo Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017).

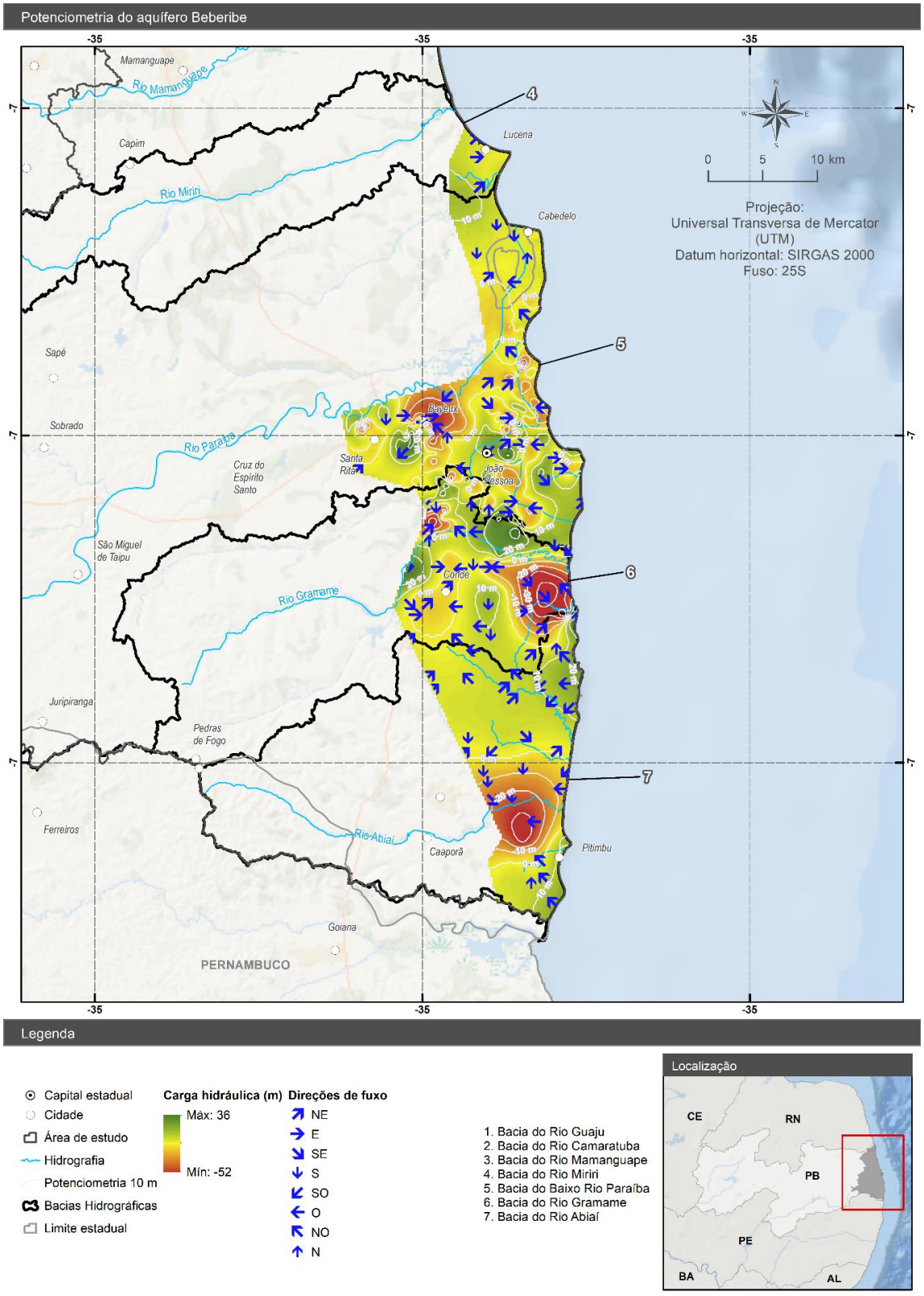


Figura 3.41 – Mapa potenciométrico do subsistema confinado subjacente ao Aquitardo Gramame.

3.4.6 *Análise das oscilações de níveis nos subsistemas livre e confinado do SAPP*

3.4.6.1 Oscilações de níveis do subsistema livre

O capítulo de diagnóstico apresentou dados do monitoramento do aquífero livre no Município de João Pessoa, obtidos em 32 poços do Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017), com profundidades variando de 4,0 m a 39,0 m. A maioria desses poços é utilizada para o abastecimento de moradores da zona rural e são do tipo amazonas, com diâmetros variando em 1 m e 2 m.

Neste contexto, 13 desses poços se localizam na bacia hidrográfica do rio Paraíba e os 19 restantes na bacia hidrográfica do rio Gramame. Desse conjunto, 12 estão localizados na área de ocorrência do Aquitardo Gramame, cujos limites operacionais foram definidos no item 3.1.

O monitoramento de níveis, com registros coletados mensalmente, ocorreu no período de novembro de 2009 a fevereiro de 2018, sendo que de agosto de 2011 a outubro de 2015 as medições foram descontinuadas. Não foi realizado monitoramento simultâneo da precipitação atmosférica na área onde se localizam os poços para uma efetiva correlação entre quantidade de chuva e variação do nível de água, todavia, os dados apresentados mostram uma inequívoca correlação entre os níveis crescentes de água no período de maiores precipitações (meses de março a agosto), e os níveis decrescentes no período de estiagem (setembro a fevereiro), conforme exemplificado na Figura 3.42.

A respeito dos resultados obtidos na análise dos dados de monitoramento do aquífero livre no âmbito do Projeto BRAMAR, Coelho *et al.* (2012) calcularam uma recarga direta de 73,8 mm durante o período de novembro de 2009 a outubro de 2010. Esse valor equivale a 7,2% da precipitação média anual na área de estudo.

Fernandes (2017), por sua vez, demonstrou que os poços de monitoramento do aquífero livre, no âmbito do Projeto BRAMAR, exibiram variações altimétricas entre 0,46 m e 3,92 m ao longo de 2016. A recarga média anual foi estimada em 184,88 mm, representando 11,7% da precipitação durante o período avaliado.

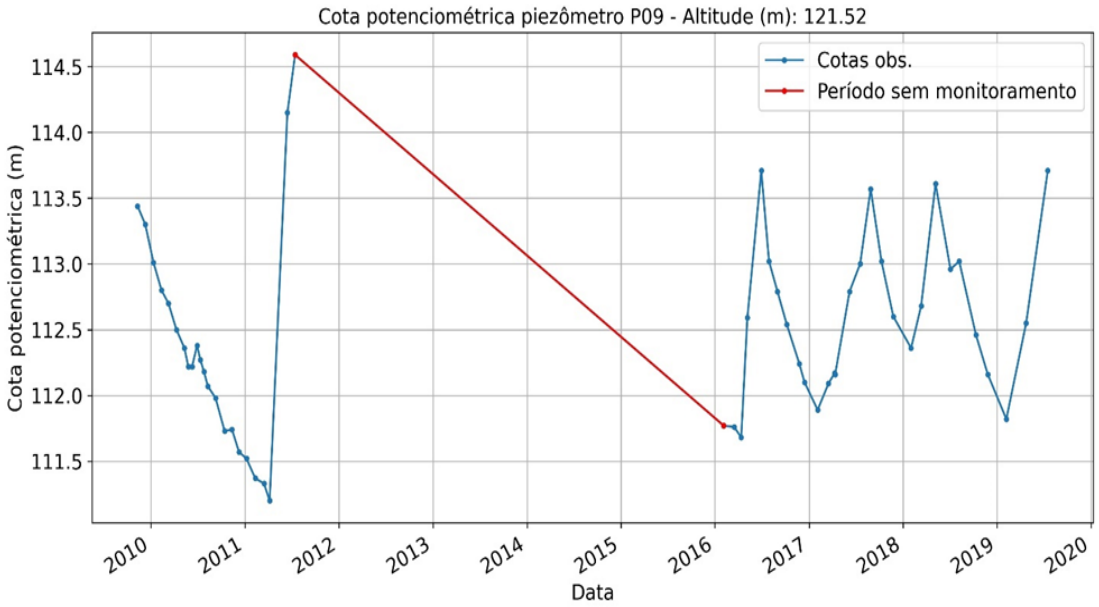


Figura 3.42 – Variação da carga hidráulica no poço de monitoramento P-09.

Em relação aos resultados derivados da análise dos dados de monitoramento, Coelho *et al.* (2012) sugeriram a perfuração estratégica de “piezômetros” em locais específicos da bacia, evitando qualquer interferência que possa comprometer a qualidade dos dados, como observado nos poços sujeitos a bombeamento. Além disso, propuseram a instalação de sondas para a medição automatizada do nível estático diariamente, visando detectar alterações em um intervalo de tempo mais curto.

É importante destacar que a amplitude da variação do nível de água nos aquíferos livres, entre outros fatores, está diretamente relacionada à porosidade efetiva do intervalo sedimentar e à posição do poço em relação à sua área de descarga. Em outras palavras, as amplitudes são menores nas proximidades das áreas de descarga e aumentam conforme nos afastamos.

3.4.6.2 Oscilações de níveis do subsistema confinado

O monitoramento permanente e contínuo de níveis de água do subsistema confinado é realizado desde 2009 pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM, por meio do projeto RIMAS - Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas, sendo mantido através de recursos institucionais.

O projeto RIMAS conta com quatro poços de monitoramento localizados na área de ocorrência do Aquitardo Gramame, cujos limites operacionais foram definidos no item 3.1. São os poços de código RIMAS 2600008444 (Cabedelo), 2600047476 (João Pessoa), 26000047473 (João Pessoa) e 2600047480 (Bayeux). Esses poços estão sendo monitorados automaticamente desde 17/11/2011 e os dados disponibilizados estão atualizados até 16/09/2022, com exceção do poço de Bayeux que foi desativado em 2013. Algumas descontinuidades nos registros por conta de problemas técnicos nos sensores de nível podem ser observadas. Os dados de monitoramento conjunto da pluviometria não estão disponibilizados pela CPRM.

Para uma análise de monitoramento do subsistema confinado, na área do Aquitardo Gramame, foram selecionados os poços de códigos 2600008444 (Cabedelo) e 2600047476 (João Pessoa), dedicados exclusivamente para essa finalidade. As características construtivas e níveis de água iniciais (nível estático obtido após a realização dos testes de bombeamento ao final da construção do poço) dos poços de monitoramento analisados são mostradas no Quadro 3.5. As características dos poços mostram que os intervalos monitorados estão localizados abaixo do Aquitardo Gramame, em situação de confinamento hidráulico.

Quadro 3.5 – Características dos poços de monitoramento da CPRM.

Código poços	Prof. (m)	NE inicial (m)	Intervalo de filtros	Cimentação do anular	Fm. Gramame
2600008444	310	5,91	136-284 m	0 a 105 m	42 a 93 m
2600047476	154	41,41	128,5 a 150 m	0 a 100 m	60 a 65 m

A Figura 3.43 ilustra a flutuação dos níveis de água do subsistema confinado nos dois poços analisados, distantes mais de 23 km entre si. As oscilações de longo termo dos níveis (fundamentais para estimativa da recarga), observadas nesses poços exibem um padrão consistente, manifestando-se através de períodos de elevação dos níveis (recarga) no intervalo temporal referente aos meses de maior pluviosidade (março a agosto) e descenso dos níveis (descarga) nos meses de estiagem (setembro a fevereiro). As amplitudes das flutuações registradas nos dois poços são diferentes, porém, a sincronia entre os eventos de recarga e descarga é notavelmente precisa e exibe um padrão cíclico.

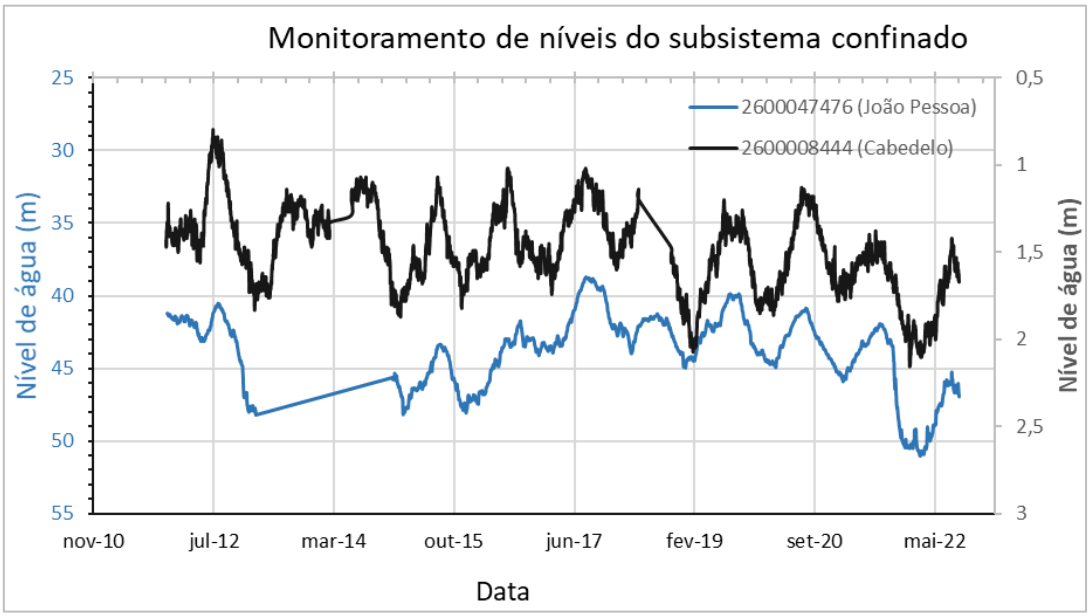


Figura 3.43 – Flutuações de níveis de água de monitoramento de longo termo do subsistema confinado em poços do RIMAS/CPRM.

O monitoramento sistemático com sensores de nível de água no subsistema confinado também foi realizado em seis poços identificados pelos números P1004, P1005, P1006, P1007, P1009 e P1010, localizados na área de ocorrência do Aquitardo Gramame. Dentre esses, os dados mais significativos foram coletados nos poços P1004 e P1009, respectivamente com 199 m e 310 m de profundidade, e nos poços P1005 e P1010, cujas profundidades não foram determinadas (Figura 3.44).

Os registros de carga hidráulica apresentados no gráfico da Figura 3.44 ilustram as flutuações dos níveis de água dos poços P1004, P1005, P1009 e P1010, durante o período recessivo de dezembro de 2017 a março de 2018. As oscilações de carga hidráulica dos poços são sincrônicas e de pequena amplitude, e as ascensões de nível sugerem uma provável correspondência temporal com períodos curtos de chuva de baixa intensidade. A tendência observada nos registros é de descarga natural do aquífero, com descenso progressivo dos níveis até o final do período recessivo.

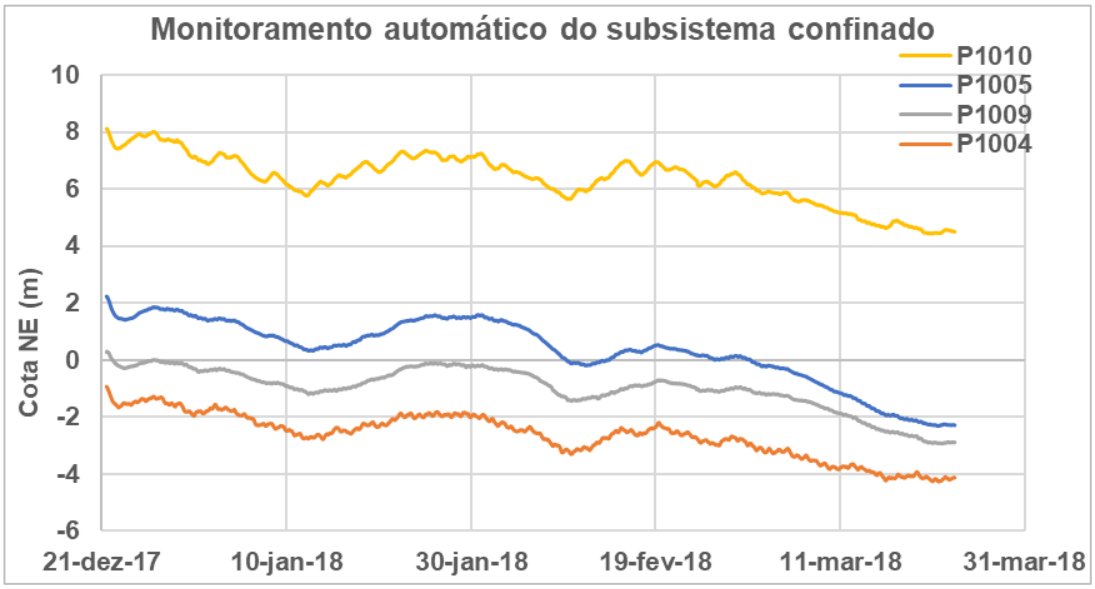


Figura 3.44 – Variação dos níveis de água do subsistema confinado em poços monitorados no Projeto BRAMAR.

Finalmente, dados de monitoramento manual não sistemáticos de níveis realizados no período de agosto de 2016 a março de 2018, com longo período entre uma medição e outra, foram realizados em 14 poços perfurados no subsistema confinado, incluindo os poços P1004, P1005, P1006, P1007, P1009 e P1010, analisados a pouco. Os dados apresentados mostram, grosso modo, o mesmo comportamento geral observado nos poços monitorados contínua e sistematicamente, todavia, o número escasso de registros impede a observação de oscilações rápidas (com períodos de até pouco mais de um dia) e de oscilações médias (com períodos semanais).

Tanto as hidrógrafas do subsistema livre como do subsistema confinado mostram oscilações sazonais de recarga e descarga associadas, respectivamente, aos períodos de maior e menor pluviosidade. As oscilações sazonais são comuns nos aquíferos livres, porém não deveriam se manifestar de modo similar em aquíferos confinados, uma vez que a camada confinante possui baixa permeabilidade. Segundo Driscoll (1986) e Rose (2009), a explicação para esse fato está na descontinuidade lateral da camada confinante.

3.5 MODELO CONCEITUAL DO FLUXO SUBTERRÂNEO DO SAPP

O fluxo subterrâneo na área do SAPP pode ser representado esquematicamente pela Figura 3.45 e Figura 3.46 que esboçam, de modo simplificado, as relações de contato

entre as principais unidades hidroestratigráficas constituintes desse sistema e o movimento da água subterrânea no seu interior, desde as áreas de recarga até as áreas de descarga.

Os reservatórios subterrâneos do SAPP estão reunidos nos subsistemas livre e confinado. As unidades aquíferas principais do SAPP que constituem o subsistema livre são representadas pelos aquíferos Coberturas Sedimentares, Barreiras e parte do Aquífero Beberibe; e o subsistema confinado é representado pelo Aquífero Beberibe, quando subjacente ao Aquitardo Gramame. O SAPP no estado de Paraíba tem sua fronteira física na área leste, no limite com nível do mar; na fronteira oeste com as rochas do embasamento cristalino; ao norte no divisor de águas superficiais da margem esquerda da bacia do rio Guaju; e a sul no divisor de águas superficiais da margem direita da bacia do rio Abiaí.

As relações hidroestratigráficas e o fluxo subterrâneo entre as regiões *onshore* e *offshore* do SAPP ainda são pouco conhecidas e passíveis de diferentes interpretações. A presença de água mais densa com diferentes salinidades, na porção oceânica, acrescenta grande complexidade no estabelecimento de um limite para o escoamento da água doce. Um exemplo ilustrativo é o estudo de Batista *et al.* (2010), que conduziu uma simulação matemática do estado natural do subsistema Beberibe. A interpretação desse autor sugere que a descarga natural do aquífero confinado ocorre a uma distância de 50 km da zona costeira, no final da plataforma continental. Entretanto, é essencial ressaltar que essa hipótese carece de confirmação por meio de dados geológicos de subsuperfície, uma vez que não existem poços perfurados na porção *offshore*. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de investigação da continuidade e da espessura das unidades hidroestratigráficas para além da zona costeira. Essa abordagem é crucial para compreender de que maneira a extração de água subterrânea influencia a interface de transição entre água doce e água salgada.

Em toda a área de ocorrência do SAPP é possível observar a presença de componentes de fluxo local e regional, que desempenham um papel relevante no controle das direções do escoamento subterrâneo. É importante ressaltar que o sistema de fluxo local ocorre nas porções superficiais do terreno, formadas por aquíferos livres, onde as áreas de recarga e descarga estão próximas entre si; já o sistema de fluxo regional ocorre nas

porções mais profundas dos aquíferos, cujas áreas de recarga se encontram distantes das áreas de descarga.

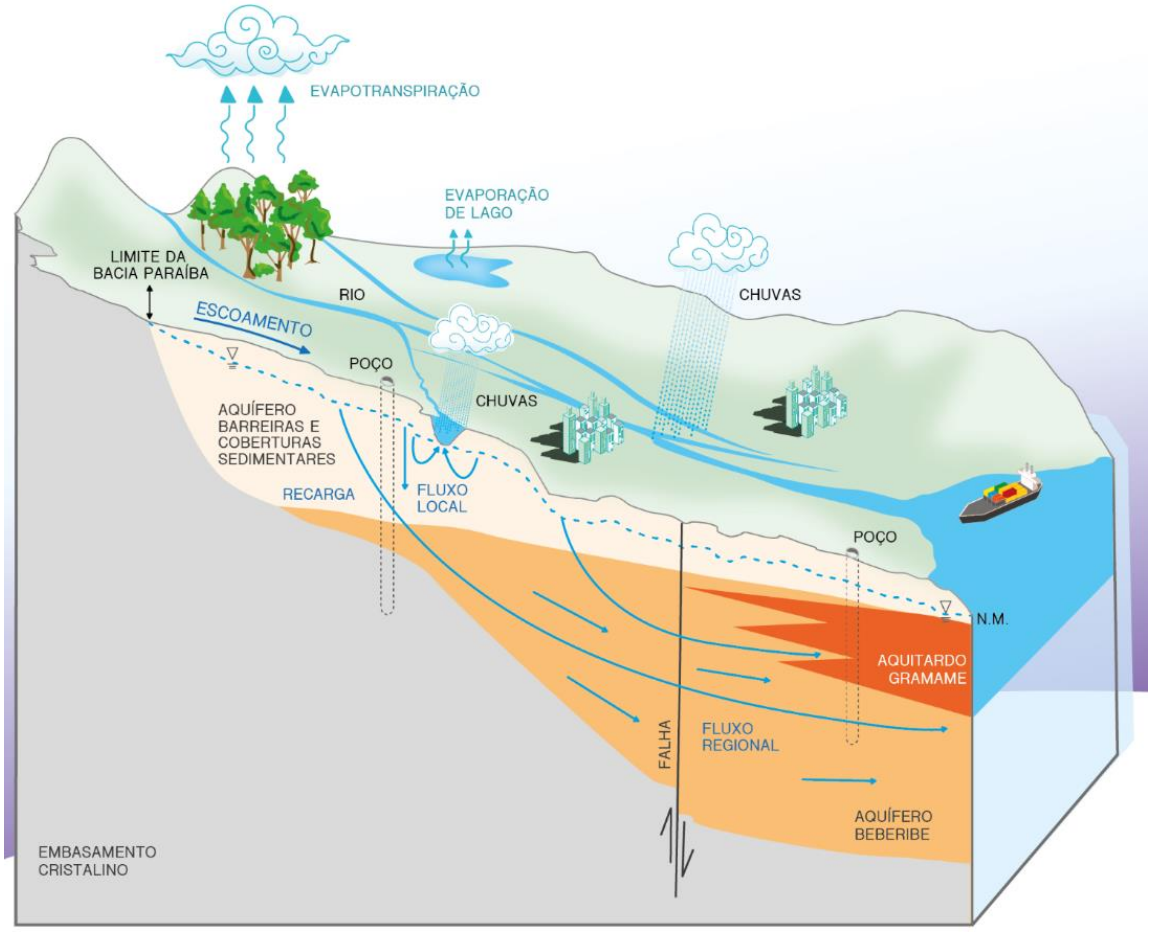


Figura 3.45 – Modelo conceitual de fluxo subterrâneo do SAPP em área do Aquitardo Gramame.

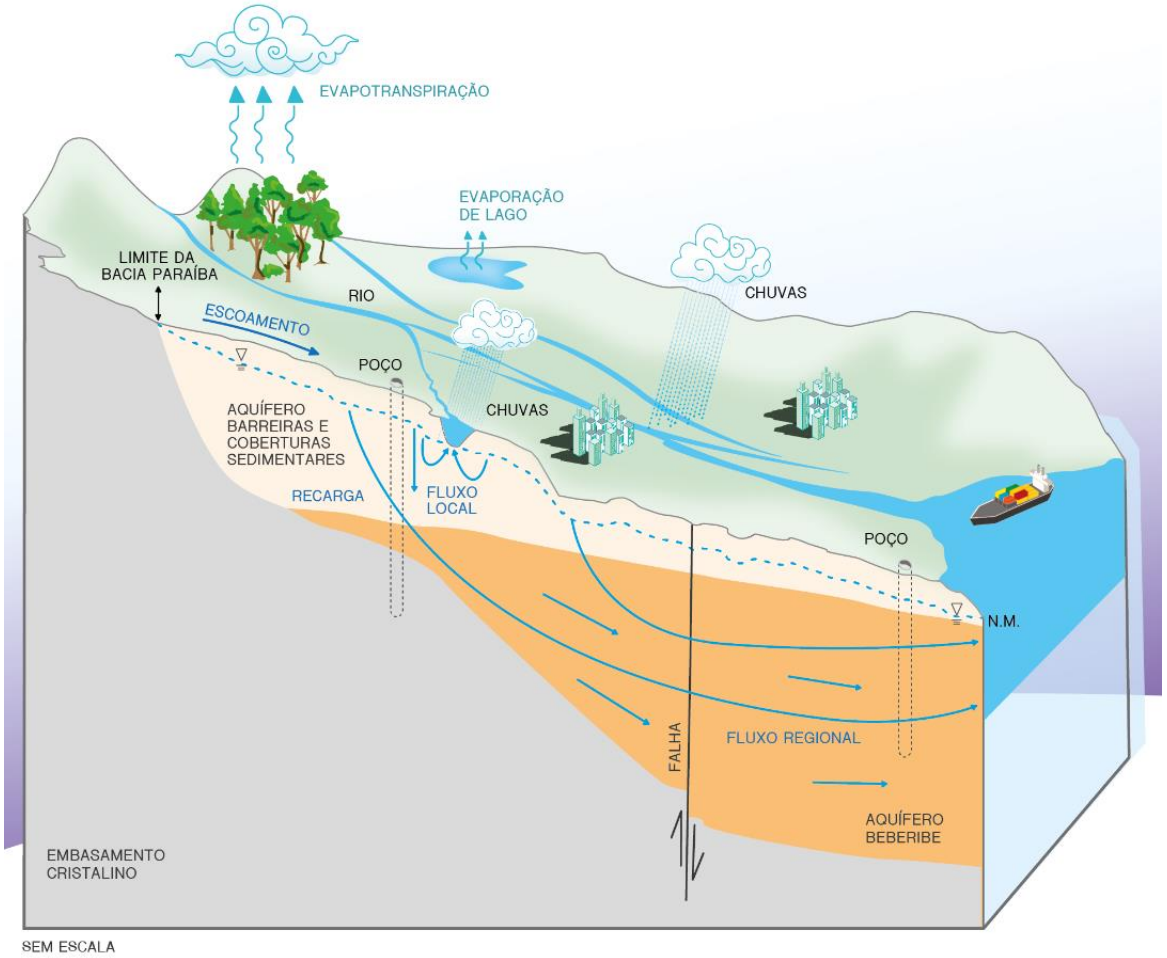


Figura 3.46 – Modelo conceitual de fluxo subterrâneo do SAPP em área de não ocorrência do Aquitardo Gramame.

A recarga direta pelas precipitações atmosféricas, cujas médias anuais históricas variam entre a mínima de 674 mm até a máxima de 1.892 mm, é a principal entrada de água no SAPP, por meio da infiltração nas camadas superiores dos aquíferos Barreiras e Coberturas Sedimentares, que juntos cobrem mais de 95% de toda a área do SAPP. O Aquífero Beberibe aflora em área restrita na porção sul do SAPP, onde também recebe recarga direta pelas precipitações. O Aquitardo Gramame, por sua vez, forma uma barreira hidráulica que impede ou dificulta a percolação de água para o aquífero confinado.

A recarga potencial direta foi estimada preliminarmente em 13% da precipitação ou 0,78 km³/ano, com base em estudos realizados previamente. Essa recarga se processa sazonalmente, na dependência da quantidade e frequência das chuvas, que normalmente são mais efetivas nos períodos de março e agosto. A recarga direta é potencialmente maior nas regiões próximas à costa, onde a pluviosidade é mais elevada, contudo, sua distribuição é dependente de fatores intrínsecos como coeficiente de infiltração do solo, profundidade do nível de água, declividade dos terrenos, grau de umidade e uso do solo, dentre outros.

A maior parte das águas de recarga infiltradas nas porções superiores dos aquíferos livres alcançam o nível freático e são continuamente descarregadas para as porções topograficamente mais deprimidas dos terrenos, normalmente situadas junto aos talvegues dos rios. As vazões descarregadas pelos aquíferos correspondem às reservas ativas e representam a parcela maior da recarga direta, renovada anualmente. Nessa condição, a circulação hídrica no aquífero é realizada com tempos de trânsito subterrâneo pequenos, da ordem de horas a anos, e é representada pelos fluxos locais na Figura 3.45 e Figura 3.46.

Sob a influência da recarga, as elevações crescentes na superfície livre dos aquíferos geram gradientes hidráulicos cada vez mais pronunciados, intensificando a descarga subterrânea. À medida que as águas subterrâneas são liberadas, o gradiente hidráulico gradualmente se atenua, resultando em uma redução contínua do escoamento na direção dos rios. Essa diminuição do fluxo natural é especialmente evidente durante o período de estiagem, quando os gradientes hidráulicos atingem níveis mais baixos. Esse

fenômeno reflete a interação dinâmica entre a recarga, a descarga subterrânea e as variações sazonais nos gradientes hidráulicos ao longo do tempo.

Uma parcela consideravelmente menor da recarga direta alcança as camadas mais profundas dos aquíferos e é descarregada em áreas mais afastadas das zonas de entrada. As linhas de fluxo que atingem as regiões mais profundas dos aquíferos são componentes do escoamento subterrâneo denominado fluxo regional. O fluxo regional é responsável por orientar o movimento da água subterrânea em uma escala mais abrangente na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. Essas linhas de fluxo se estendem desde a interface com o embasamento cristalino, a oeste, até a zona costeira, a leste, onde as águas são finalmente descarregadas no oceano (Figura 3.45 e Figura 3.46).

Na região costeira, onde o Aquitardo Gramame está presente (Figura 3.45), ocorre uma situação peculiar, na qual observa-se o fenômeno de compressão do fluxo subterrâneo regional abaixo dessa unidade carbonática, resultando na formação do subsistema confinado do Aquífero Beberibe.

A recarga do subsistema confinado Beberibe é realizada através da circulação lateral na zona de transição com a porção livre desse subsistema. As águas de recarga que alcançam esse subsistema são originadas pela infiltração profunda através dos aquíferos superficiais. As águas do subsistema confinado escoam naturalmente em direção ao Oceano Atlântico e as linhas de fluxo tendem a mostrar comportamento ascendente na interface entre águas doces continentais e águas marinhas salgadas. Inversões locais de fluxo, provocadas pelo rebaixamento regional da superfície potenciométrica devido ao bombeamento de poços, são comuns e podem contribuir para o avanço da cunha salina continente adentro.

3.6 INTERFERÊNCIAS ANTRÓPICAS POR EXTRAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A avaliação da intensidade de explotação é o principal indicador de consumo das águas subterrâneas, uma vez que possibilita a identificação de áreas onde a extração de água é ou pode se tornar crítica. Esse método oferece um diagnóstico efetivo da quantidade de água retirada dos aquíferos, utilizando dados oficiais de vazões outorgadas

fornecidos pelos gestores locais. Além disso, ele desempenha um papel fundamental na elaboração do balanço hídrico, seja por bacia hidrográfica, município ou aquífero.

De acordo com Paula e Silva *et al.* (2021), a aplicação desse método está condicionada ao conhecimento preciso da localização e da vazão extraída pelos poços em operação. Isso destaca a importância do comprometimento dos órgãos gestores de recursos hídricos, que devem empenhar-se no cadastramento das captações subterrâneas e na atualização contínua do banco de dados de captações.

Apesar de a densidade de poços ser um indicador relevante na avaliação do estresse hídrico, o impacto predominante nos aquíferos resulta da quantidade de água extraída (vazão) pelo bombeamento desses poços. Portanto, áreas com uma elevada concentração de poços que extraem volumes consideráveis de água têm o potencial de causar impactos significativos nos aquíferos, tornando-se prioritárias para a instalação de sistemas de monitoramento. Esses sistemas visam controlar as retiradas de água e garantir a qualidade das águas subterrâneas.

Usualmente, a avaliação do estresse hídrico subterrâneo nos estudos hidrogeológicos e planos de bacias utiliza como unidade de gestão as bacias ou sub-bacias hidrográficas, cujas dimensões superficiais afetam diretamente o cálculo das disponibilidades. Nesse sentido, bacias com grandes dimensões normalmente resultam numa avaliação de estresse hídrico modesto, mesmo tendo uma extração significativa de água dos aquíferos; por outro lado, bacias de pequenas dimensões normalmente são classificadas como de elevado estresse hídrico, mesmo com pequena extração de água. Esse método de avaliação não distingue as porções ou regiões dos aquíferos efetivamente estressadas (PAULA E SILVA *et al.*, 2021).

Ao contrário, a análise da intensidade aqui empregada utiliza ferramentas de geoprocessamento aplicadas a dados de poços, considerando tanto o número absoluto de captações como as vazões individuais extraídas. Esse método simples de geoprocessamento no tratamento de indicadores de consumo, como aqui mostrado, permite identificar e avaliar adequadamente o nível de estresse hídrico dos aquíferos ou porções deles, proporcionando melhores resultados quando comparado com os métodos usualmente aplicados, que não distinguem as áreas críticas.

A análise da intensidade de explotação do SAPP utilizou a ferramenta de geoprocessamento "*Kernel Density*", do programa *ArcGIS* e considerou a vazão anual extraída de 2.688 captações outorgadas pela AESA. Essas informações foram fornecidas pela referida empresa e integram o capítulo de diagnóstico deste projeto. A ferramenta "*Kernel Density*" calcula a magnitude por unidade de área para cada célula do *raster* usando a função Kernel e com base em uma vizinhança ao redor, exprimindo o resultado em termos de densidade de vazão anual por unidade de área.

Inicialmente, essa análise foi aplicada a todos os poços outorgados pela AESA e registrados no banco de dados de outorga. A escolha desse procedimento se justifica pelo fato de que os recursos hídricos presentes nos subsistemas do SAPP não estão dissociados; em outras palavras, constituem um reservatório subterrâneo único e extenso, abrangendo inclusive a porção correspondente ao subsistema confinado.

A análise realizada com todos os poços outorgados é mostrada no mapa de intensidade de uso da Figura 3.47, cujos valores resultantes do geoprocessamento foram distribuídos em 11 classes de vazão anual. Esse mapa identifica as áreas de maior concentração de retirada de água subterrânea do SAPP, notadamente na região de João Pessoa, onde é extraído mais de 50% da vazão outorgada. Por outro lado, mostra que os recursos hídricos subterrâneos não são ainda explotados em 31% da área, com destaque para a região norte do SAPP. Como maiores consumidores de água subterrânea podem ainda ser citados os municípios de Santa Rita, Lucena e Conde, com respectivamente 13,4%, 9,3% e 8,8% do total de recursos hídricos outorgados.

A planilha contendo dados de outorga, fornecida pela AESA, não identifica o aquífero explotado e não traz informações sobre a profundidade dos poços. A falta desses dados impede uma análise com objetivo de distinção entre os subsistemas livre e confinado, razão pela qual, não foram elaborados mapas de intensidade de explotação separadamente para cada subsistema.

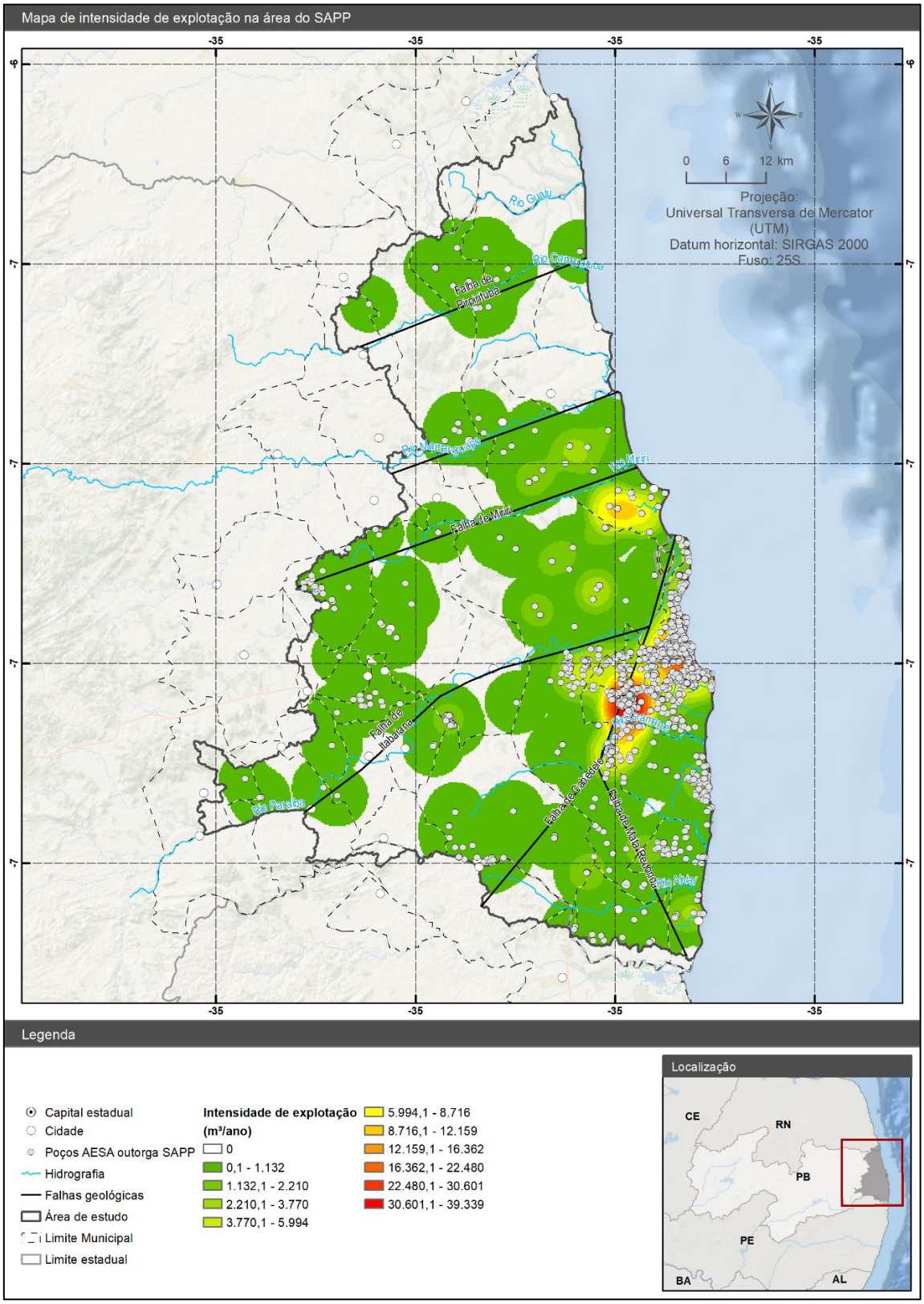


Figura 3.47 – Mapa de intensidade de explotação do SAPP.

3.7 OBSERVAÇÕES FINAIS DO MODELO CONCEITUAL

Este capítulo 3 abordou a dinâmica da circulação da água subterrânea no SAPP e analisou os fatores que influenciam esse processo, os quais fundamentaram o modelo conceitual de fluxo.

O SAPP compreende um sistema aquífero distribuído em área total de 4.356 km² do Estado da Paraíba, sendo composto por um subsistema livre e um subsistema confinado. O subsistema livre engloba os aquíferos Coberturas Sedimentares, Barreiras e Beberibe. O subsistema confinado ocorre em área reduzida de 726 km², junto à zona costeira, aproximadamente delimitado pelas falhas de Cabedelo e Mata Redonda, onde o Aquífero Beberibe está subjacente ao Aquitardo Gramame. No entanto, uma delimitação precisa desse aquitardo e, consequentemente, da área do subsistema confinado, ainda carece de investigações mais pormenorizadas.

Os contornos do SAPP são representados pelo contato irregular entre o embasamento cristalino, à oeste; a sul e a norte, respectivamente pelos divisores de água das bacias hidrográficas do rio Guaju, trecho incidente no estado do Rio Grande do Norte e do rio Abiaí, trecho este incidente no estado de Pernambuco; à leste, pela zona costeira junto ao Oceano Atlântico. A porção superior é definida pela superfície potenciométrica do subsistema livre. A base do aquífero é representada pela superfície irregular e falhada do embasamento cristalino.

O SAPP é recarregado em toda sua área de exposição por infiltração direta de águas pluviais, com exceção daquela onde aflora o Aquitardo Gramame. Os meses chuvosos, de março a agosto, são potencialmente melhores para a recarga direta do SAPP, contudo, fatores geológicos e topográficos e de uso do solo controlam a taxa de infiltração. Considerações a respeito da favorabilidade do solo à recarga são detalhadamente discutidos para cada uma das bacias hidrográficas da área de estudo. Os meses de estiagem representam o período de depleção natural do aquífero.

Estimativas preliminares apontam que a recarga total do SAPP corresponde a 13% da precipitação média interanual na área (1.372 mm), equivalente a 0,78 km³/ano. A maior parte dessa vazão é direcionada para a rede de drenagem das bacias hidrográficas, manifestando-se como escoamento de base nos cursos de água superficiais. Uma

fração menor da recarga total, conhecida como recarga profunda, alimenta os reservatórios mais profundos, incluindo o subsistema confinado, e contribui para o fluxo subterrâneo regional. Embora não tenha sido previamente quantificada em estudos anteriores, a recarga profunda é estimada aqui em apenas 5% da recarga total, indicando sua pouca expressividade em termos quantitativos.

A potenciometria do subsistema livre mostra que os fluxos subterrâneos locais se dirigem dos pontos mais elevados para os pontos mais deprimidos do terreno, coincidentes com os talvegues dos cursos de água superficiais. O movimento da água subterrânea no subsistema livre mostra forte conexão com as águas superficiais e é influenciado diretamente pelas precipitações atmosféricas, que são responsáveis pelas oscilações da carga hidráulica e mudanças no gradiente de fluxo. Na escala de bacias hidrográficas, os fluxos locais originados nos aquíferos livres são controlados pelos grandes divisores hidrogeológicos, que restringem o movimento da água subterrânea aos domínios específicos da bacia hidrográfica, impedindo a transferência de águas subterrâneas de uma bacia para outra. Uma breve discussão e análise da potenciometria é apresentada para cada uma das bacias hidrográficas.

A potenciometria do aquífero confinado é governada pelos sistemas de fluxo regionais. Os fluxos regionais são pouco afetados por variações sazonais de recarga e a descarga se processa em bacias hidrográficas distantes. Regiões com cargas negativas e positivas e múltiplas direções de fluxo subterrâneo foram identificadas no subsistema confinado, influenciadas pelas interferências causadas pela extração de água subterrânea por poços. Na zona costeira, a retirada descontrolada de água subterrânea pode resultar, ainda, no deslocamento de água salgada do mar para o interior do aquífero com potencial de contaminação do mesmo.

Uma análise das oscilações nos níveis de água subterrânea, registradas em poços de monitoramento, revelou que tanto as hidrógrafas do subsistema livre quanto as do subsistema confinado exibem flutuações sazonais de recarga e descarga associadas aos períodos de maior e menor pluviosidade. Embora as oscilações sazonais sejam comuns nos aquíferos livres, sua manifestação semelhante nos aquíferos confinados é menos provável, considerando a baixa permeabilidade esperada da camada confinante.

Uma possível explicação para esse fenômeno reside na descontinuidade lateral da camada confinante, um aspecto que ainda necessita de investigação mais aprofundada.

O modelo conceitual de fluxo ilustra o comportamento do escoamento subterrâneo nas áreas livres e confinadas, a partir da integração das informações e análises desenvolvidas ao longo deste capítulo. Em todo o SAPP é possível observar a presença de componentes de fluxo local e regional, que desempenham um papel relevante no controle das direções do escoamento subterrâneo, conforme relatado nos parágrafos anteriores. O modelo destaca o fenômeno de compressão do fluxo subterrâneo regional abaixo do Aquitardo Gramame, na formação do subsistema confinado do Aquífero Beberibe, e a recarga por meio da circulação lateral na zona de transição com o subsistema livre. Além disso, ressalta que as inversões locais de fluxo provocadas pelo bombeamento de poços podem contribuir para o avanço da cunha salina continente adentro.

Finalmente, o mapa de avaliação da intensidade de explotação, resultante de interferências antrópicas, identifica as áreas do SAPP com maior concentração de retirada de água subterrânea, definidas como áreas críticas e recomendadas para monitoramento, como por exemplo a região de João Pessoa, onde mais de 50% da vazão outorgada de todo o Estado de Paraíba é extraída.

4 ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO

Este capítulo abrange as atividades de demarcação de zonas e subzonas de gerenciamento, incorporando estimativas de potencial e disponibilidade das águas subterrâneas na região. O objetivo central é a definição dessas zonas de gerenciamento e a análise dos cálculos de recargas, disponibilidades e balanços hídricos nas áreas correspondentes.

O trabalho foi iniciado com o cálculo da recarga, um passo essencial para embasar a delimitação das zonas de gerenciamento. Três métodos distintos foram aplicados para estimativas de recarga no sistema aquífero livre, enquanto um método específico foi utilizado para o sistema aquífero confinado. Detalhes metodológicos e os resultados desta fase estão minuciosamente apresentados nos subitens 4.1 e 4.2, respectivamente.

Em seguida, no subitem 4.3, é realizada a definição das zonas de gerenciamento em duas etapas. Na primeira, foram atribuídos pesos para ponderar a relevância para outorga em relação a cinco temas essenciais: recarga, vulnerabilidade, conexão com ecossistemas, uso do solo e densidade de poços. A ponderação resultou em um *raster*, indicando zonas com maior ou menor relevância para outorga. Portanto, a relevância para outorga refere-se ao grau de importância ou prioridade de uma determinada área em relação ao uso e proteção dos recursos hídricos subterrâneos. Esse material, uma primeira aproximação do zoneamento, foi posteriormente refinado ao considerar critérios adicionais, como estruturas dos aquíferos, fontes potenciais de contaminação, bacias hidrográficas, zonas previamente delimitadas na região e setores censitários.

Por fim, uma vez definidas as zonas de gerenciamento, foram determinados os valores de recarga, disponibilidade e balanço hídrico para cada uma delas. Adicionalmente, apresentou-se o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) em cada zona, visando facilitar a compreensão dos resultados do balanço hídrico.

4.1 RECARGA SUBTERRÂNEA – AQUÍFERO LIVRE

Conforme definido por (HEALY, 2010), a recarga refere-se ao fluxo de água que penetra no solo e atinge o nível estático de água subterrânea, ou seja, a região saturada de

água no subsolo. É importante observar que essa definição não abrange o fluxo de água entre diferentes sistemas aquíferos. Geralmente, a recarga é expressa em unidades de volume por tempo (m^3/ano) ou volume por unidade de área durante um período específico (mm/ano). Além disso, é comum avaliar as frações de recarga em relação à precipitação total anual das regiões em estudo. A recarga é um dos mais importantes componentes do balanço de massa em estudos de água subterrânea, e é um dos componentes menos entendidos, especialmente porque varia largamente no espaço e tempo, e as taxas são dificilmente medidas de forma direta.

Tendências sistemáticas na dinâmica da recarga são normalmente associadas a tendências no clima, entretanto, o uso do solo e a geologia também são importantes. A aleatoriedade na variação espacial da recarga é normalmente verificada em escalas pontuais, podendo ser atribuída à heterogeneidade da drenagem de solos, à variação da vegetação, entre outros (HEALY, 2010; LORENZ e DELIN, 2007).

4.1.1 *Definição das Metodologias*

A obtenção das taxas de recarga subterrânea é notoriamente desafiadora e complexa, justificando, assim, a sempre presente sugestão de empregar uma abordagem que combine diversos métodos, preferencialmente independentes. Contudo, é imperativo destacar que a concordância entre distintas metodologias não pode ser interpretada como uma garantia de precisão nos resultados, pois cada metodologia carrega suas inerentes incertezas (DELIN *et al.*, 2007; HEALY e COOK, 2002; MATTIUZI *et al.*, 2016; RISSER *et al.*, 2005).

A seleção de um ou mais método de recarga é influenciada pelos dados disponíveis, pelos objetivos definidos e pela escala do sistema em questão. Delin e Risser (2007) mostram uma série de trabalhos de recarga realizados nos Estados Unidos da América, os autores mostram que o método do balanço hídrico é normalmente utilizado para representar a recarga em escala local.

O presente estudo definiu as metodologias com base nos dados disponíveis na área de estudo. Dentre os dados disponíveis é importante destacar a rede hidrometeorológica brasileira, unificada e disponibilizada ao público pela plataforma Hidroweb, que subsidia os mais diversos estudos envolvendo os recursos hídricos no país. Na região de estudo,

conforme já apresentado no diagnóstico, foram levantados/consolidados dados de estações fluviométricas e pluviométricas. Esses dados com boa representação espacial pesaram na escolha do uso do método do balanço hídrico na área de estudo, onde permitem que um balanço hídrico espacial possa ser desenvolvido, como é aprofundado no decorrer deste documento.

Ainda, o uso de ferramentas de sensoriamento remoto tem apresentado importantes contribuições para melhorar o entendimento do ciclo hidrológico e preencher lacunas nos estudos de recarga subterrânea. Neste trabalho foram usados dois produtos, o MOD16 (MU; ZHAO; RUNNING, 2011), que foi utilizado para obter a evapotranspiração real na aplicação do método do balanço hídrico, e o GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) (TAPLEY *et al.*, 2004), que permite avaliar temporalmente o histórico dos últimos 20 anos de variação aquífera na bacia e compreender as magnitudes dos aumentos anuais. Ambos serão aprofundados no decorrer desse documento.

Os dados de variação temporal dos níveis de aquíferos são uma das ferramentas mais confiáveis para quantificar as reservas hídricas subterrâneas e entender seu comportamento. A grande maioria dos aquíferos brasileiros não apresenta monitoramento nos aquíferos com poços de monitoramento de nível, deixando as análises temporais desses mananciais incertas. Contudo, na região de estudo, existem diversas séries de dados, essas séries de nível estático permitem que estudos de recarga subterrânea sejam desenvolvidos de maneira mais precisa na região. Dessa forma, para quantificar a recarga subterrânea por meio dos dados de nível foi utilizado o mundialmente conhecido método *Water Table Fluctuation* (WTF) (HEALY e COOK, 2002), também conhecido como “Método da Variação dos Níveis Aquíferos (WTF)”, o método tem sido um dos mais usados e confiáveis para estimativa de recarga subterrânea (VARNI *et al.*, 2013; WENDLAND; BARRETO; GOMES, 2007).

Sendo assim, os resultados obtidos pelos métodos apresentados anteriormente foram avaliados de forma crítica para obtenção de valores de recarga representativos para a área de estudo. Cada um dos métodos e ferramentas citadas serão exploradas com maiores detalhes a seguir. E por fim, os métodos serão discutidos de forma integrada.

4.1.2 *Método da Water Table Fluctuation - WTF*

4.1.2.1 Descrição do Método

A compreensão do método está baseada na análise do balanço das águas subterrâneas em uma bacia (HEALY e COOK, 2002). Mudanças no armazenamento de água no aquífero podem ser atribuídas à entrada de água pela recarga e ao fluxo subterrâneo para a bacia menos o escoamento de base (descarga do aquífero para os rios e mananciais), a evapotranspiração das águas subterrâneas e ao fluxo subterrâneo para fora da bacia. Esse balanço é representado pela Equação 16.

$$\Delta S^{gw} = \mathrm{R} - Q^{bf} - ET^{gw} - Q^{gw}{}_{off} + Q^{gw}{}_{on} \qquad \text{Equação 16}$$

onde “R” é a recarga (mm), “ΔS^{gw}” é a mudança no armazenamento de água no aquífero (mm), “Q^{bf}” é o fluxo de base (mm), “ET^{gw}” é evapotranspiração de água subterrânea (mm), “$Q^{gw}{}_{off}$” é o fluxo subterrâneo para fora (mm) e “$Q^{gw}{}_{on}$” é o fluxo subterrâneo para dentro (mm).

O método WTF parte do pressuposto que durante os eventos episódicos de recarga, o fluxo de água do aquífero para os rios, a evapotranspiração da água subterrânea e a retirada de água do aquífero por poços é igual ao comportamento extrapolado da curva de recessão do método, ou seja, durante o aumento dos níveis, as saídas continuariam ocorrendo na forma da recessão dos níveis. A equação para cálculo está apresentada abaixo (Equação 17).

$$R = s_Y . \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \qquad \text{Equação 17}$$

em que “R” é a recarga (mm), “S_y” é a porosidade efetiva, “Δh” é o acréscimo de altura de água e “Δt” é o tempo. A aplicação do método requer que uma curva de recessão seja ajustada para compensar todas as saídas citadas anteriormente e que ocorrem no aquífero durante os eventos episódicos de recarga. A escolha do formato da curva de recessão usada em cada poço depende do comportamento dos níveis estáticos. Em locais onde a retirada de água dos poços se dá majoritariamente pela explotação por poços, o comportamento é próximo ao linear, em locais onde predomina a descarga dos

aquíferos para os rios, o comportamento esperado é o logarítmico decrescente. A Figura 4.1 apresenta um exemplo da aplicação do método para uma série de dados de nível estático.

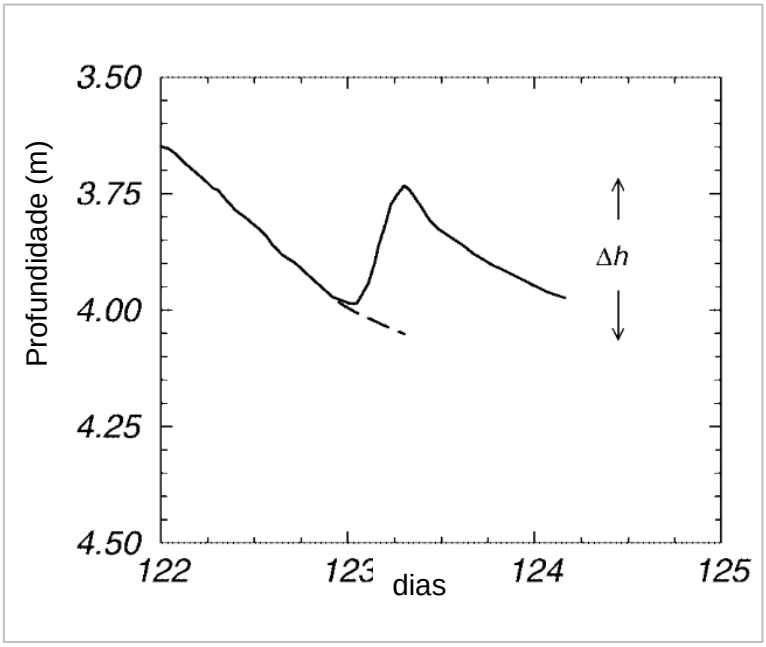


Figura 4.1 – Exemplo de aplicação da curva de recessão manual. Fonte: Healy (2002).

Assim, conhecendo a variação temporal dos níveis estáticos e seu comportamento na recessão juntamente com a porosidade específica aproximada do aquífero, é possível quantificar os volumes de recarga que chegam no aquífero. A estimativa da porosidade efetiva (S_y) do aquífero é normalmente a variável com maior dificuldade de obtenção. A aplicação do método gera resultados que representam o entorno do poço de monitoramento apenas ou áreas onde ocorre a recarga.

4.1.2.2 Levantamento dos Dados de Nível

Conforme apresentado no item 2.2.6.1 do Diagnóstico, a coleta de dados foi realizada com base em dissertações, teses e artigos publicados por professores e pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (PPGEUA/UFPB), atual Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) e considerados ainda dois grandes projetos de pesquisa e cooperação internacional: i) O Projeto BRAMAR (vigente de 2014 a 2018); e ii) O SMART-Control, vigente do final de 2019 a março de 2022.

No Quadro 2.39 são listados os documentos com informações sobre o monitoramento quantitativo de águas subterrâneas na região litorânea sul do Estado da Paraíba e no Quadro 2.40 e Figura 2.85, é apresentada a lista e distribuição espacial dos poços de monitoramento do aquífero livre selecionados na área de estudo. Maiores detalhes e séries de cada um dos 32 poços da rede pré-selecionados podem ser observados no diagnóstico. Além disso, as informações destes poços também constam no Anexo I, do presente estudo.

As séries históricas foram avaliadas para obtenção da recarga subterrânea com o método WTF e os dados foram pré-selecionados com base em alguns critérios:

- Dados contínuos e completos abrangendo o ano hidrológico completo na época de recarga subterrânea;
- Resposta do nível à ocorrência de recarga subterrânea;
- Sazonalidade marcada da variação dos níveis à eventos de chuva.

Os dados de níveis foram então utilizados para cálculo da recarga subterrânea usando o Método WTF apresentado anteriormente.

4.1.2.3 Porosidade Efetiva (Sy)

Os valores de coeficiente de armazenamento para os poços P01 ao P39 foram obtidos por meio do trabalho de (FERNANDES, 2017), que utilizou estimativas obtidas por meio de ensaios de bombeamento em poços tubulares e do tipo cacimba nos poços usados neste estudo. Os autores optaram por utilizar um valor médio de 10% para obtenção das estimativas de recarga, o mesmo foi feito neste trabalho para os poços citados.

4.1.2.4 Resultados do Método WTF

O trabalho desenvolvido a partir da extrapolação da curva de recessão e os resultados parciais obtidos para cada poço analisado estão apresentados no Anexo X e no Anexo XI. A partir do delta H obtido para cada poço, este foi multiplicado pelas respectivas porosidades, conferido os valores de recarga. As avaliações foram realizadas para cada poço em cada ano e do Quadro 4.1 ao Quadro 4.7, são apresentados os resultados obtidos para recarga, precipitação, relação entre recarga e precipitação e média destas três estimativas em cada poço, separadamente para as bacias hidrográficas dos rios

Gramame e Baixo Paraíba. Foram removidos os poços P03, P15 e P18a pois os níveis desses poços acusavam interferência por bombeamento.

Quadro 4.1 – Resultado da recarga (mm) em poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Recarga (mm)												
							2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
P05	Aquífero Livre	Cacimbão	264.560	9.186.535	175,52	11,1	68	-	-	-	-	-	254	380	230	366	-	-	-
P11	Aquífero Livre	Cacimbão	265.010	9.205.480	89,06	18	-	-	-	-	-	-	185	224	-	-	-	-	-
P12	Aquífero Livre	Cacimbão	264.904	9.203.561	81,11	6,74	-	-	-	-	-	-	-	94	-	-	-	-	-
P17	Aquífero Livre	Cacimbão	266.506	9.203.393	92,33	26	-	-	-	-	-	-	343	198	-	-	-	-	-
P27	Aquífero Livre	Tubular	296.066	9.218.927	1,85	13	-	-	-	-	-	-	-	182	-	-	-	-	-
P31	Aquífero Livre	Tubular	296.202	9.218.758	1,66	8,89	-	-	-	-	-	-	-	166	95	-	-	-	-
P32	Aquífero Livre	Tubular	295.840	9.215.550	1,21	12,59	-	-	-	-	-	-	-	235	158	-	-	-	-
P33	Aquífero Livre	Tubular	295.003	9.218.883	-0,55	14,66	-	-	-	-	-	-	-	87	45	-	-	-	-
P36	Aquífero Livre	Tubular	294.911	9.210.745	9	22,94	-	-	-	-	-	-	-	213	116	-	-	-	-
P37	Aquífero Livre	Tubular	300.771	9.205.328	23	32	-	-	-	-	-	-	-	414	150	-	-	-	-
P38	Aquífero Livre	Tubular	299.203	9.205.453	40	33,22	-	-	-	-	-	-	-	601	241	-	-	-	-
P39	Aquífero Livre	Tubular	297.159	9.204.966	38	35,17	-	-	-	-	-	-	-	320	170	-	-	-	-

Quadro 4.2 – Resultado da recarga (mm) em poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Recarga (mm)												
							2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
P01	Aquífero Livre	Cacimbão	271.868	9.200.823	57,21	5,65	17	-	-	-	-	-	40	99	-	-	-	-	-
P02	Aquífero Livre	Cacimbão	268.670	9.198.581	68,54	9,2	-	-	-	-	-	-	180	265	282	-	-	-	-
P04	Aquífero Livre	Cacimbão	266.336	9.196.776	133,82	19,8	39	-	-	-	-	-	264	234	102	264	-	-	-
P06	Aquífero Livre	Cacimbão	264.458	9.184.209	137,84	10,9	-	-	-	-	-	-	-	117	-	-	-	-	-
P08	Aquífero Livre	Cacimbão	268.467	9.182.638	113,48	8,05	162	-	-	-	-	-	303	556	107	-	-	-	-
P09	Aquífero Livre	Cacimbão	269.231	9.187.134	121,52	11,7	46	-	-	-	-	-	214	245	159	249	-	-	-
P10	Aquífero Livre	Tubular	269.233	9.188.520	111,78	12,95	148	-	-	-	-	-	505	507	421	600	-	-	-
P14	Aquífero Livre	Cacimbão	277.764	9.200.633	25,51	7	80	-	-	-	-	-	145	-	-	-	-	-	-
P16	Aquífero Livre	Cacimbão	280.884	9.198.748	75,14	10,37	152	-	-	-	-	-	414	532	253	-	-	-	-
P18b	Aquífero Livre	Tubular	264.650	9.181.968	155,79	19,65	-	-	192	357	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P20	Aquífero Livre	Cacimbão	274.261	9.194.613	46,95	7,3	-	-	-	-	-	-	276	365	246	-	-	-	-
P21	Aquífero Livre	Cacimbão	283.879	9.188.960	34	4	-	-	-	-	-	-	46	123	-	-	-	-	-
P22	Aquífero Livre	Cacimbão	283.802	9.189.991	51,89	16	121	-	-	-	-	-	241	380	-	-	-	-	-
P23	Aquífero Livre	Tubular	292.357	9.202.840	49	39	-	-	-	-	-	-	142	279	155	-	-	-	-
P24	Aquífero Livre	Tubular	297.590	9.199.182	5	28	-	-	-	-	-	-	-	701	416	-	-	-	-
P25	Aquífero Livre	Cacimbão	288.390	9.193.703	42	9,7	-	-	-	-	-	-	75	172	106	-	-	-	-
P29	Aquífero Livre	Tubular	289.557	9.208.029	32		-	-	-	-	-	-	-	-	317	-	-	-	-

Quadro 4.3 – Resultado da precipitação (mm) na proximidade de poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Precipitação (mm)												
							2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
P05	Aquífero Livre	Cacimbão	264.560	9.186.535	175,52	11,1	922	2248	1248	1539	1223	1101	1186	1300	1147	1504	1230	969	1453
P11	Aquífero Livre	Cacimbão	265.010	9.205.480	89,06	18	686	1672	1047	1289	1049	1108	1177	1315	947	1347	1504	961	1621
P12	Aquífero Livre	Cacimbão	264.904	9.203.561	81,11	6,74	686	1672	1047	1289	1049	1108	1177	1315	947	1347	1504	961	1621
P17	Aquífero Livre	Cacimbão	266.506	9.203.393	92,33	26	686	1672	1047	1289	1049	1108	1177	1315	947	1347	1504	961	1621
P27	Aquífero Livre	Tubular	296.066	9.218.927	1,85	13	1333	2355	1651	2155	1489	1618	1569	2079	1525	2135	2113	1840	2643
P31	Aquífero Livre	Tubular	296.202	9.218.758	1,66	8,89	1333	2355	1651	2155	1489	1618	1569	2079	1525	2135	2113	1840	2643
P32	Aquífero Livre	Tubular	295.840	9.215.550	1,21	12,59	1321	2414	1669	1832	1474	1488	1569	2052	1554	2134	1967	1756	2555
P33	Aquífero Livre	Tubular	295.003	9.218.883	-0,55	14,66	1333	2355	1651	2155	1489	1618	1569	2079	1525	2135	2113	1840	2643
P36	Aquífero Livre	Tubular	294.911	9.210.745	9	22,94	1321	2414	1669	1832	1474	1488	1569	2052	1554	2134	1967	1756	2555
P37	Aquífero Livre	Tubular	300.771	9.205.328	23	32	962	2111	1523	1613	1343	1322	1395	2035	1651	1995	1803	1678	2186
P38	Aquífero Livre	Tubular	299.203	9.205.453	40	33,22	962	2111	1523	1613	1343	1322	1395	2035	1651	1995	1803	1678	2186
P39	Aquífero Livre	Tubular	297.159	9.204.966	38	35,17	962	2111	1523	1613	1343	1322	1395	2035	1651	1995	1803	1678	2186

Quadro 4.4 – Resultado da precipitação (mm) na proximidade de poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Precipitação (mm)												
							2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
P01	Aquífero Livre	Cacimbão	271.868	9.200.823	57,21	5,65	836	1915	1246	1392	1127	1175	1303	1571	1271	1667	1711	1067	1885
P02	Aquífero Livre	Cacimbão	268.670	9.198.581	68,54	9,2	686	1672	1047	1289	1049	1108	1177	1315	947	1347	1504	961	1621
P04	Aquífero Livre	Cacimbão	266.336	9.196.776	133,82	19,8	686	1672	1047	1289	1049	1108	1177	1315	947	1347	1504	961	1621
P06	Aquífero Livre	Cacimbão	264.458	9.184.209	137,84	10,9	922	2248	1248	1539	1223	1101	1186	1300	1147	1504	1230	969	1453
P08	Aquífero Livre	Cacimbão	268.467	9.182.638	113,48	8,05	922	2248	1248	1539	1223	1101	1186	1300	1147	1504	1230	969	1453
P09	Aquífero Livre	Cacimbão	269.231	9.187.134	121,52	11,7	922	2248	1248	1539	1223	1101	1186	1300	1147	1504	1230	969	1453
P10	Aquífero Livre	Tubular	269.233	9.188.520	111,78	12,95	922	2248	1248	1539	1223	1101	1186	1300	1147	1504	1230	969	1453
P14	Aquífero Livre	Cacimbão	277.764	9.200.633	25,51	7	923	1901	1232	1556	1248	1188	1334	1505	1035	1461	1455	1221	2019
P16	Aquífero Livre	Cacimbão	280.884	9.198.748	75,14	10,37	923	1901	1232	1556	1248	1188	1334	1505	1035	1461	1455	1221	2019
P18b	Aquífero Livre	Tubular	264.650	9.181.968	155,79	19,65	922	2248	1248	1539	1223	1101	1186	1300	1147	1504	1230	969	1453
P20	Aquífero Livre	Cacimbão	274.261	9.194.613	46,95	7,3	836	1915	1246	1392	1127	1175	1303	1571	1271	1667	1711	1067	1885
P21	Aquífero Livre	Cacimbão	283.879	9.188.960	34	4	1090	2169	1333	1709	1333	1246	1408	1889	1322	1717	1775	1142	2114
P22	Aquífero Livre	Cacimbão	283.802	9.189.991	51,89	16	1090	2169	1333	1709	1333	1246	1408	1889	1322	1717	1775	1142	2114
P23	Aquífero Livre	Tubular	292.357	9.202.840	49	39	1090	2169	1333	1709	1333	1246	1408	1889	1322	1717	1775	1142	2114
P24	Aquífero Livre	Tubular	297.590	9.199.182	5	28	962	2111	1523	1613	1343	1322	1395	2035	1651	1995	1803	1678	2186
P25	Aquífero Livre	Cacimbão	288.390	9.193.703	42	9,7	1090	2169	1333	1709	1333	1246	1408	1889	1322	1717	1775	1142	2114
P29	Aquífero Livre	Tubular	289.557	9.208.029	32		1257	2276	1440	1781	1466	1357	1374	1860	1434	2029	1633	1591	2303

Quadro 4.5 – Resultado da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Relação entre Recarga (mm) e Precipitação (mm)												
							2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
P05	Aquífero Livre	Cacimbão	264.560	9.186.535	175,52	11,1	7%	-	-	-	-	-	21%	29%	20%	24%	-	-	-
P11	Aquífero Livre	Cacimbão	265.010	9.205.480	89,06	18	-	-	-	-	-	-	16%	17%	-	-	-	-	-
P12	Aquífero Livre	Cacimbão	264.904	9.203.561	81,11	6,74	-	-	-	-	-	-	-	7%	-	-	-	-	-
P17	Aquífero Livre	Cacimbão	266.506	9.203.393	92,33	26	-	-	-	-	-	-	29%	15%	-	-	-	-	-
P27	Aquífero Livre	Tubular	296.066	9.218.927	1,85	13	-	-	-	-	-	-	-	9%	-	-	-	-	-
P31	Aquífero Livre	Tubular	296.202	9.218.758	1,66	8,89	-	-	-	-	-	-	-	8%	6%	-	-	-	-
P32	Aquífero Livre	Tubular	295.840	9.215.550	1,21	12,59	-	-	-	-	-	-	-	11%	10%	-	-	-	-
P33	Aquífero Livre	Tubular	295.003	9.218.883	-0,55	14,66	-	-	-	-	-	-	-	4%	3%	-	-	-	-
P36	Aquífero Livre	Tubular	294.911	9.210.745	9	22,94	-	-	-	-	-	-	-	10%	7%	-	-	-	-
P37	Aquífero Livre	Tubular	300.771	9.205.328	23	32	-	-	-	-	-	-	-	20%	9%	-	-	-	-
P38	Aquífero Livre	Tubular	299.203	9.205.453	40	33,22	-	-	-	-	-	-	-	30%	15%	-	-	-	-
P39	Aquífero Livre	Tubular	297.159	9.204.966	38	35,17	-	-	-	-	-	-	-	16%	10%	-	-	-	-

Quadro 4.6 – Resultado da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Relação entre Recarga (mm) e Precipitação (mm)												
							2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
P01	Aquífero Livre	Cacimbão	271.868	9.200.823	57,21	5,65	2%	-	-	-	-	-	3%	6%	-	-	-	-	-
P02	Aquífero Livre	Cacimbão	268.670	9.198.581	68,54	9,2	-	-	-	-	-	-	15%	20%	30%	-	-	-	-
P04	Aquífero Livre	Cacimbão	266.336	9.196.776	133,82	19,8	6%	-	-	-	-	-	22%	18%	11%	20%	-	-	-
P06	Aquífero Livre	Cacimbão	264.458	9.184.209	137,84	10,9	-	-	-	-	-	-	-	9%	-	-	-	-	-
P08	Aquífero Livre	Cacimbão	268.467	9.182.638	113,48	8,05	18%	-	-	-	-	-	26%	43%	9%	-	-	-	-
P09	Aquífero Livre	Cacimbão	269.231	9.187.134	121,52	11,7	5%	-	-	-	-	-	18%	19%	14%	17%	-	-	-
P10	Aquífero Livre	Tubular	269.233	9.188.520	111,78	12,95	16%	-	-	-	-	-	43%	39%	37%	40%	-	-	-
P14	Aquífero Livre	Cacimbão	277.764	9.200.633	25,51	7	9%	-	-	-	-	-	11%	-	-	-	-	-	-
P16	Aquífero Livre	Cacimbão	280.884	9.198.748	75,14	10,37	16%	-	-	-	-	-	31%	35%	24%	-	-	-	-
P18b	Aquífero Livre	Tubular	264.650	9.181.968	155,79	19,65	-	-	15%	23%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P20	Aquífero Livre	Cacimbão	274.261	9.194.613	46,95	7,3	-	-	-	-	-	-	21%	23%	19%	-	-	-	-
P21	Aquífero Livre	Cacimbão	283.879	9.188.960	34	4	-	-	-	-	-	-	3%	7%	-	-	-	-	-
P22	Aquífero Livre	Cacimbão	283.802	9.189.991	51,89	16	11%	-	-	-	-	-	17%	20%	-	-	-	-	-
P23	Aquífero Livre	Tubular	292.357	9.202.840	49	39	-	-	-	-	-	-	10%	15%	12%	-	-	-	-
P24	Aquífero Livre	Tubular	297.590	9.199.182	5	28	-	-	-	-	-	-	-	34%	25%	-	-	-	-
P25	Aquífero Livre	Cacimbão	288.390	9.193.703	42	9,7	-	-	-	-	-	-	5%	9%	8%	-	-	-	-
P29	Aquífero Livre	Tubular	289.557	9.208.029	32		-	-	-	-	-	-	-	-	22%	-	-	-	-

Quadro 4.7 – Resultado dos valores médios da recarga (mm), precipitação (mm) e da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Paraíba.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Recarga média (mm)	Precipitação média (mm)	Relação média RxP (%)
P05	Aquífero Livre	Cacimbão	264.560	9.186.535	175,52	11,1	260	1313	20%
P11	Aquífero Livre	Cacimbão	265.010	9.205.480	89,06	18	205	1209	17%
P12	Aquífero Livre	Cacimbão	264.904	9.203.561	81,11	6,74	94	1209	8%
P17	Aquífero Livre	Cacimbão	266.506	9.203.393	92,33	26	271	1209	22%
P27	Aquífero Livre	Tubular	296.066	9.218.927	1,85	13	182	1885	10%
P31	Aquífero Livre	Tubular	296.202	9.218.758	1,66	8,89	131	1885	7%
P32	Aquífero Livre	Tubular	295.840	9.215.550	1,21	12,59	197	1830	11%
P33	Aquífero Livre	Tubular	295.003	9.218.883	-0,55	14,66	66	1885	4%
P36	Aquífero Livre	Tubular	294.911	9.210.745	9	22,94	165	1830	9%
P37	Aquífero Livre	Tubular	300.771	9.205.328	23	32	282	1663	17%
P38	Aquífero Livre	Tubular	299.203	9.205.453	40	33,22	421	1663	25%
P39	Aquífero Livre	Tubular	297.159	9.204.966	38	35,17	245	1663	15%
Valores médios para a bacia do Baixo Rio Paraíba							**210**	**1604**	**14%**
Valores médios com intervalor de confiança de 95% para a bacia do Baixo Rio Paraíba							**210±61**		

Quadro 4.8 – Resultado dos valores médios da recarga (mm), precipitação (mm) e da relação (%) entre recarga (mm) e precipitação (mm) para os poços de captação do sistema aquífero livre entre os anos de 2010 e 2022 para a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame.

Código	Tipo	Poço	UTM L (m)	UTM S (m)	Altitude (m)	Profundidade (m)	Recarga média (mm)	Precipitação média (mm)	Relação média RxP (%)
P01	Aquífero Livre	Cacimbão	271.868	9.200.823	57,21	5,65	52	1397	4%
P02	Aquífero Livre	Cacimbão	268.670	9.198.581	68,54	9,2	242	1209	20%
P04	Aquífero Livre	Cacimbão	266.336	9.196.776	133,82	19,8	181	1209	15%
P06	Aquífero Livre	Cacimbão	264.458	9.184.209	137,84	10,9	117	1313	9%
P08	Aquífero Livre	Cacimbão	268.467	9.182.638	113,48	8,05	282	1313	21%
P09	Aquífero Livre	Cacimbão	269.231	9.187.134	121,52	11,7	183	1313	14%
P10	Aquífero Livre	Tubular	269.233	9.188.520	111,78	12,95	436	1313	33%
P14	Aquífero Livre	Cacimbão	277.764	9.200.633	25,51	7	113	1391	8%
P16	Aquífero Livre	Cacimbão	280.884	9.198.748	75,14	10,37	338	1391	24%
P18b	Aquífero Livre	Tubular	264.650	9.181.968	155,79	19,65	275	1313	21%
P20	Aquífero Livre	Cacimbão	274.261	9.194.613	46,95	7,3	296	1397	21%
P21	Aquífero Livre	Cacimbão	283.879	9.188.960	34	4	85	1557	5%
P22	Aquífero Livre	Cacimbão	283.802	9.189.991	51,89	16	247	1557	16%
P23	Aquífero Livre	Tubular	292.357	9.202.840	49	39	192	1557	12%
P24	Aquífero Livre	Tubular	297.590	9.199.182	5	28	559	1663	34%
P25	Aquífero Livre	Cacimbão	288.390	9.193.703	42	9,7	118	1557	8%
P29	Aquífero Livre	Tubular	289.557	9.208.029	32		317	1677	19%
Valores médios para a bacia do Rio Gramame							**237**	**1419**	**17%**
Valores médios com intervalor de confiança de 95% para a bacia do Rio Gramame							**237±68**		

Analisando os resultados dos quadros apresentados acima, é possível concluir que a estimativa média de recarga para o aquífero livre na bacia hidrográfica do rio Baixo Paraíba (Quadro 4.7) foi de 14% em relação à precipitação para a região em que existem poços com medição de níveis estáticos, com valor médio de 210±61 mm (intervalo de confiança de 95%). Esta porcentagem para a bacia do rio Gramame (Quadro 4.8) foi de 17%, com valor médio de 237±68 (intervalo de confiança de 95%).

Quando considerada a área de forma conjunta, a estimativa média de recarga para o aquífero livre pelo método do WTF foi de 15% em relação à precipitação para a região em que estão contemplados os poços que tem medição de níveis estáticos. Em valores absolutos, a média foi de 226±44 (intervalo de confiança de 95%). Ou seja, em média, esse é o valor da recarga anual que ocorre no sistema aquífero livre do SAPP de acordo com o método WTF no local onde os dados foram levantados.

Ao observar o Quadro 4.1 e o Quadro 4.2, nota-se que o ano de 2017 foi o que apresentou os maiores valores de recarga, isso pode ser atribuído aos maiores valores de pluviosidade que podem ser conferidos no Quadro 4.3 e no Quadro 4.4. O Quadro 4.5 e o Quadro 4.6 apresentam então, para cada poço, a relação entre a recarga e a pluviosidade para cada poço e para cada ano.

Os resultados apresentados até o momento consideraram informações pontuais para cada poço. Com o intuito de extrapolar esses resultados para locais sem poços, buscou-se estabelecer uma relação estatística entre os dados. A abordagem usada para interpolar as informações foi o método de Kriging. O método não utilizou poços localizados sobre o embasamento cristalino. Ainda, devido à disponibilidade temporal não coincidente e com tamanhos diferentes nos poços, foi adotado um critério de uso de poço com ao menos três anos de dados para garantir a consistência dos resultados. A condição usada permitiu que a interpolação fosse feita para a bacia do Gramame.

Os resultados derivados da aplicação dessa interpolação culminam em um *raster* de recarga espacializado, conforme ilustrado na Figura 4.2. Sendo assim, a partir dessa análise, foram encontrados os valores máximos, mínimos e médios como 307 mm, 221 mm e 262mm, respectivamente, na bacia do Rio Gramame.

Ao serem observados esses resultados, é interessante ressaltar as incertezas que estão envolvidas no processo de cálculo e o tipo de ação que pode ser tomada para reduzi-las em estimativas futuras. A primeira delas está relacionada à porosidade efetiva. O valor utilizado foi extraído de apenas alguns poços e foram adotados para o restante. Idealmente, todos os poços da rede de monitoramento deveriam passar por testes para que tivessem suas porosidades efetivas medidas de forma individual.

Além disso, é importante que o método seja aplicado para uma série histórica mais longa. Além disso, o ano de 2010 foi um ano com baixíssima pluviosidade, o que pode reduzir significativamente as estimativas médias em poços que contemplam o ano em questão. De qualquer forma, o método WTF foi aplicado para a rede de monitoramento existente e recomenda-se que este siga sendo aplicado para anos futuros com novos dados obtidos de níveis estáticos e, quando possível, de porosidade efetiva.

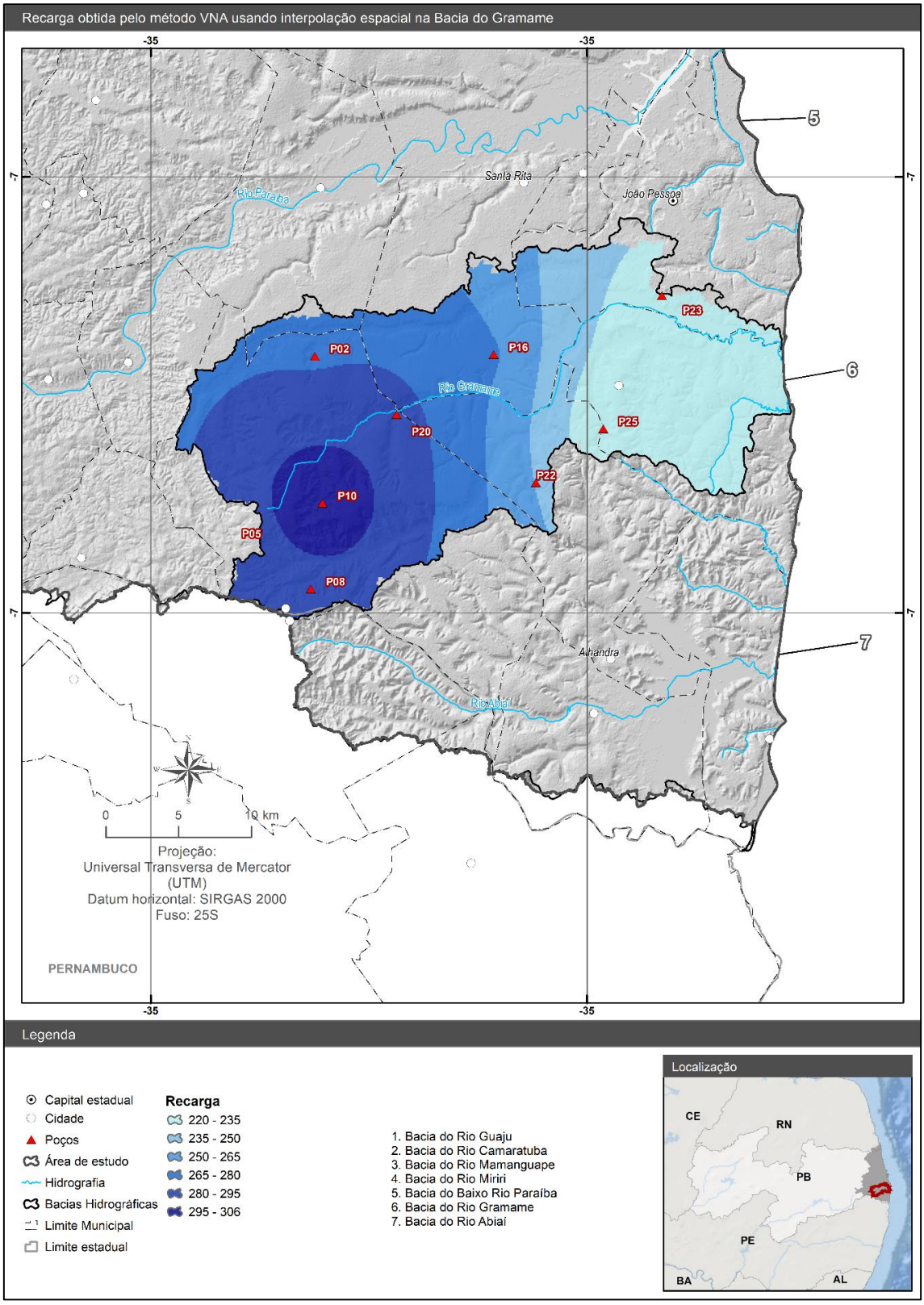


Figura 4.2 – Recarga obtida pelo método WTF usando interpolação espacial na Bacia do Gramame.

4.1.3 *Método do Balanço Hídrico*

O método de balanço hídrico é amplamente empregado na literatura para estimativas de recarga subterrânea, comumente derivando-se de um volume de controle, como um exutório ou uma área pré-determinada. Nesse contexto, todos os componentes, com exceção da recarga, são mensurados ou estimados, permitindo obter a recarga como o residual desse balanço (HEALY, 2010).

A equação do balanço hídrico segue o princípio da conservação da massa, também conhecido como princípio da continuidade. De acordo com esse princípio, a discrepância entre as entradas e saídas é equivalente à alteração no armazenamento do sistema (CPRM, 2008). Ao considerarmos como área de controle o solo de uma determinada região, temos um balanço hídrico simplificado que pode ser representado pela Equação 18.

$$P - ETR - ES - R = \Delta S \qquad \text{Equação 18}$$

em que P representa a precipitação (mm), ETR representa a evapotranspiração real (mm), ES representa o escoamento superficial (mm), R representa a recarga (mm), e ΔS representa a variação no armazenamento de água no solo (mm).

A equação proposta por (CPRM, 2008) considera os principais componentes do balanço hídrico, entretanto, apesar da sua simplicidade, nem sempre os termos são facilmente quantificados. As incertezas na estimativa pelo balanço hídrico do solo apresentado são pequenas em relação ao total da recarga, sendo adequado para escalas de tempo de um ano ou mais, principalmente por causa do balanço de umidade do solo (DE VRIES e SIMMERS, 2002; WAHNFRIED e HIRATA, 2005a). Ou seja, se analisarmos os fluxos totais da componente em algumas décadas, a mudança do "ΔS" pode ser considerada desprezível em termo de volume, permitindo que a recarga subterrânea seja obtida pela Equação 19.

$$R = P - ETR - ES \qquad \text{Equação 19}$$

Os componentes de precipitação, evapotranspiração real e escoamento superficial direto foram obtidos de maneira independente para estimativa da recarga subterrânea. Na bibliografia existem inúmeros métodos que descrevem formas de calcular cada uma

dessas variáveis. A seguir estão apresentadas informações dos métodos escolhidos, dados levantados e suas características.

4.1.3.1 Precipitação (P)

No diagnóstico do presente estudo, as séries mensais de precipitação foram avaliadas, onde identificou-se que o período chuvoso ocorre entre os meses de março e agosto e o período seco entre os meses de setembro e fevereiro. Durante os meses de março a agosto, as precipitações são mais frequentes e intensas, sendo junho o mês em que ocorrem os maiores índices pluviométricos.

Para visualizar a distribuição espacial das precipitações na área do SAPP, na etapa de diagnóstico foram elaborados mapas de isoietas a partir dos dados de precipitação de 34 estações pluviométricas levantadas e consistidas. Os mapas de isoietas da precipitação total anual média (Figura 2.43), foram gerados a partir de interpolação matemática pelo método de Kriging, na qual os valores medidos circundantes são ponderados para derivar um valor previsto para um local não medido e criar um modelo *raster* contínuo a partir de dados pontuais de precipitação.

De acordo com o mapa de isoietas que ilustra a espacialização das precipitações totais anuais ao longo do SAPP, as maiores precipitações ocorrem nas porções sul e sudeste da área, na foz das bacias dos rios Abiaí, Gramame e Paraíba, enquanto as menores precipitações anuais são registradas nas porções oeste e sudoeste, que abarca a mesorregião do agreste paraibano.

A análise conjugada da hipsometria da região e das isoietas de precipitações médias anuais (Figura 2.47) demonstra o efeito orográfico do planalto da Borborema na formação das precipitações na zona da Mata Paraibana, decorrentes da obstaculização da livre circulação das massas de ar carregadas de umidade trazida do oceano para o interior, provocada pela retenção orográfica da nebulosidade, seguida de ascensão, resfriamento, saturação e precipitação.

É possível observar que nas áreas costeiras, onde o relevo é predominantemente plano, a influência da orografia na precipitação tende a ser menos significativa. Nessas regiões, a brisa marítima é um fator importante na formação de nuvens, pois o ar quente e úmido

do oceano encontra a massa de ar mais fria sobre a terra, o que pode levar à formação de nuvens e precipitação.

A distribuição das curvas de precipitação traçadas pelas isoietas sobre o mapa hipsométrico do relevo desde a escarpa oriental do planalto da Borborema até o litoral demonstram a elevação das alturas médias de precipitação de oeste para leste em gradientes pluviométricos ascendentes para o litoral, em sentido inverso à ascensão altimétrica das cotas topográficas do relevo, sobretudo quando alcança as elevações abruptas do maciço da Borborema.

4.1.3.2 Escoamento Superficial Direto (ES)

Dentro de uma bacia hidrográfica, a água que escoa nas drenagens é gerada por meio de processos de transformação da chuva em escoamento. A vazão de um rio é gerada pela combinação da água que retorna do compartimento subterrâneo *(baseflow*), subsuperficial (*interflow*), que é a água oriunda do subsolo com rápido escoamento e que não atinge o aquífero, e da água oriunda do escoamento superficial direto (*saturated overland flow*). A Figura 4.3 apresenta de maneira simplificada as três diferentes fontes de escoamento dos rios em um hidrograma (FREEZE; CHERRY, 1979; MAIDMENT, 1992).

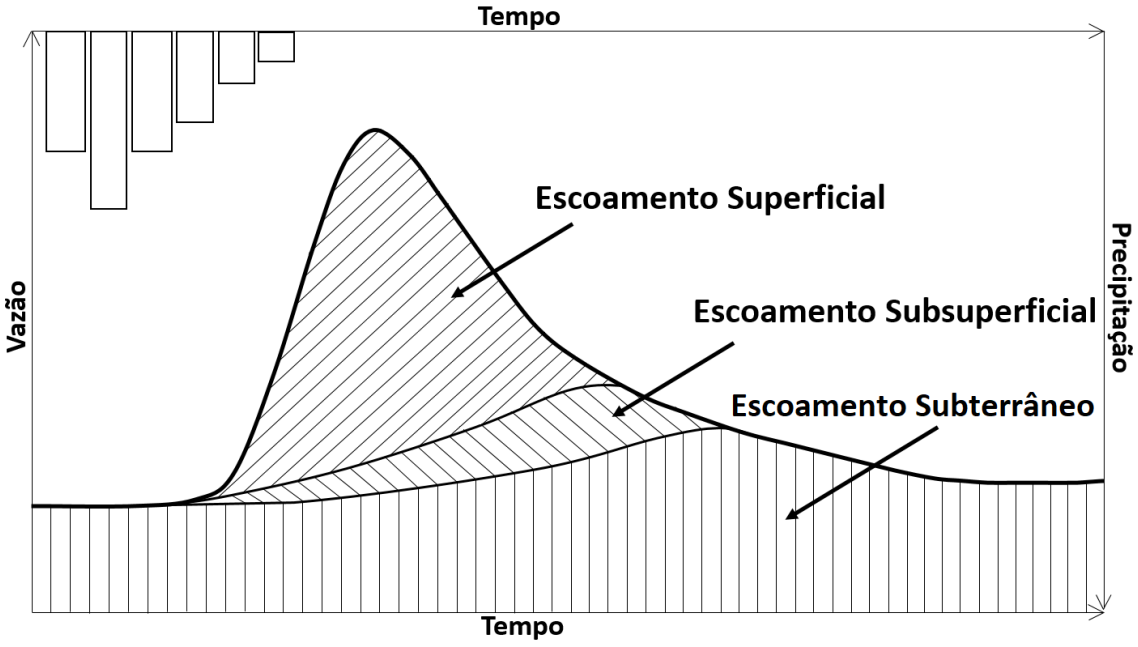


Figura 4.3 – Diferentes origens do escoamento em um rio. Fonte: Melati, 2018.

Em regiões de clima mais seco, onde é frequente a ocorrência de rios intermitentes, ou seja, quando o nível do aquífero está abaixo do leito do rio, implicando na condição de rio afluente. As frações associadas ao compartimento subterrâneo acabam sendo nulas, e o rio acaba não tendo contribuições subterrânea que garantem escoamento no rio durante todo o ano. Essa condição é observada na área de estudo, conforme pode ser observado na Figura 4.4, que mostra quase todas as curvas de permanência com períodos do ano sem vazão nos rios, com exceção de uma estação localizada no Rio Guaju (38690000).

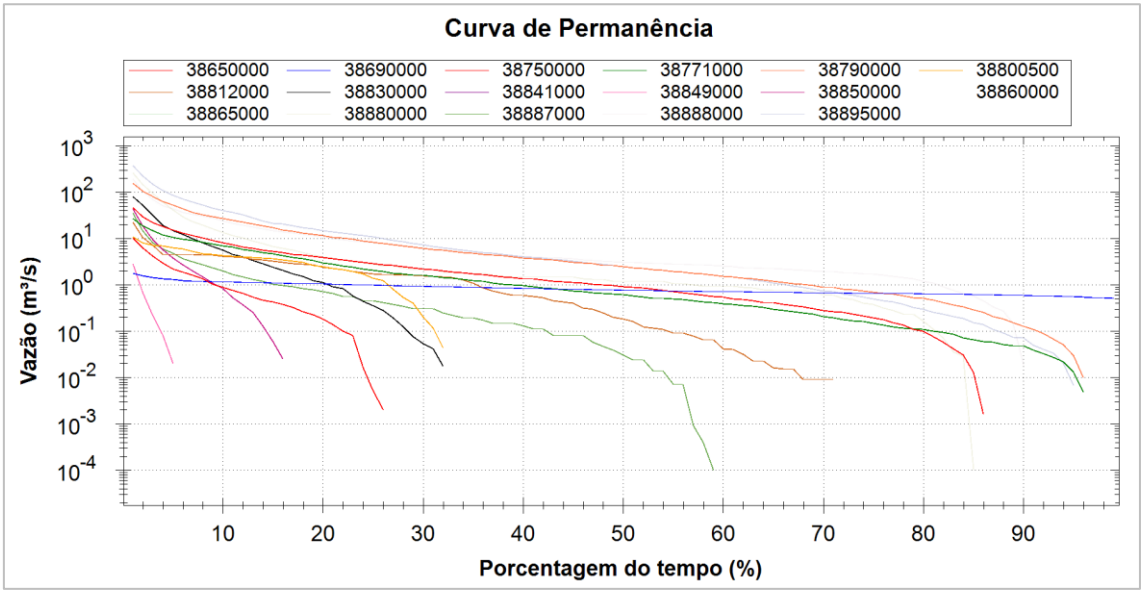


Figura 4.4 – Curva de permanência de diversas estações fluviométricas na área de estudo.

Para representar a componente do balanço hídrico escoamento superficial, ou seja, a água que escoa para o rio e não chega no aquífero, pode-se utilizar diferentes metodologias. Como a geração do escoamento superficial é dependente das condições de umidade do solo anteriores ao evento de chuva, modelos contínuos acabam sendo mais adequados para representar essa variável, para isso, os modelos chuva-vazão acabam sendo uma boa forma de obtenção do escoamento superficial direto.

Para obter a fração de escoamento superficial direto no presente trabalho, foi usado o modelo hidrológico chuva-vazão MGB (COLLISCHONN *et al.*, 2007; FAN; COLLISCHONN, 2014). Dentro do modelo, a geração do escoamento superficial é feita usando o modelo ARNO (TODINI, 1996), na qual toda a chuva que cai sobre um solo já saturado gera escoamento superficial, essa área de contribuição para a geração do

escoamento superficial é variável, o modelo é baseado no processo dunneano de geração de escoamento superficial (DUNNE; BLACK, 1970). Para determinar os totais escoados superficialmente na bacia, foram utilizados os volumes associados ao escoamento direto e ao *interflow* gerados no modelo hidrológico.

Mais detalhes da construção do modelo estão apresentados a seguir. Algumas áreas não puderam ser simuladas no modelo hidrológico, esses locais tiveram o escoamento superficial direto gerado por meio de produção específica da área vizinha, permitindo que o resultado de disponibilidade considerasse tais áreas.

4.1.3.2.1 Modelo Hidrológico MGB

No modelo hidrológico utilizado, a menor unidade de discretização da bacia é no formato de minibacias, cada uma destas possui um trecho de rio correspondente onde os resultados hidrológicos são processados, gerando como produto as séries de vazão. Para fins didáticos, a Figura 4.5 apresenta as minibacias dentro de sub-bacias definidas para o modelo MGB no presente estudo. Foram extraídas características físicas de cada minibacia tais como topologia hídrica, áreas, áreas acumuladas de drenagem, centroides, comprimentos, declividades de trechos de rios e distribuição das URHs.

O processamento que deu origem às bacias e minibacias foi feito por meio do pré-processamento do modelo no plugin BHO2MGB, que é uma versão de pré-processamento do Modelo de Grandes Bacias (MGB). O BHO2MGB utiliza as informações previamente existentes na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO 2017) disponibilizada pela ANA (2017a). No *plugin* o modelo MGB é discretizado com base nos trechos e polígonos da BHO. Assim, não é necessário o pré-processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE). Isto ocorre porque a BHO já tem nos seus atributos quase todas as informações necessárias para compor o arquivo de entrada principal do modelo MGB.

O MGB é um modelo de base física que simula processos hidrológicos usando unidades de resposta hidrológica (URH) (COLLISCHONN *et al.*, 2007), que historicamente eram definidas pela combinação de tipos de solo, uso de solo e cobertura vegetal. Os processos hidrológicos verticais, incluindo interceptação, evapotranspiração, balanço de água no solo, geração de escoamentos superficial e subsuperficial e percolação ao

aquífero, são simulados em nível de cada uma dessas URHs. Porém, estudos recentes sobre o comportamento hidrológico da paisagem (GAO; FENICIA; SAVENIJE, 2023), e por avanços tecnológicos nos mapas de cobertura da vegetação, como o projeto MapBiomas (2021), essa abordagem vem sendo substituída pela utilização de mapas de classes hidrológicas da paisagem (HLC, na sigla em inglês), as HLCs da área de estudo estão apresentadas na Figura 4.6. Maiores detalhes sobre a obtenção do mapa de HLC podem ser encontradas em (BARBEDO *et al.*, 2022).

Para calibrar o modelo, foram utilizadas as estações Ponte da Batalha (38895000) e Engenho Santana (38888000) localizadas na sub-bacia do Baixo Paraíba, juntamente com a estação Ponte do Leitão (38790000) na sub-bacia do Rio Mamanguape. As estações em questão estão localizadas dentro da área de estudo do presente projeto.

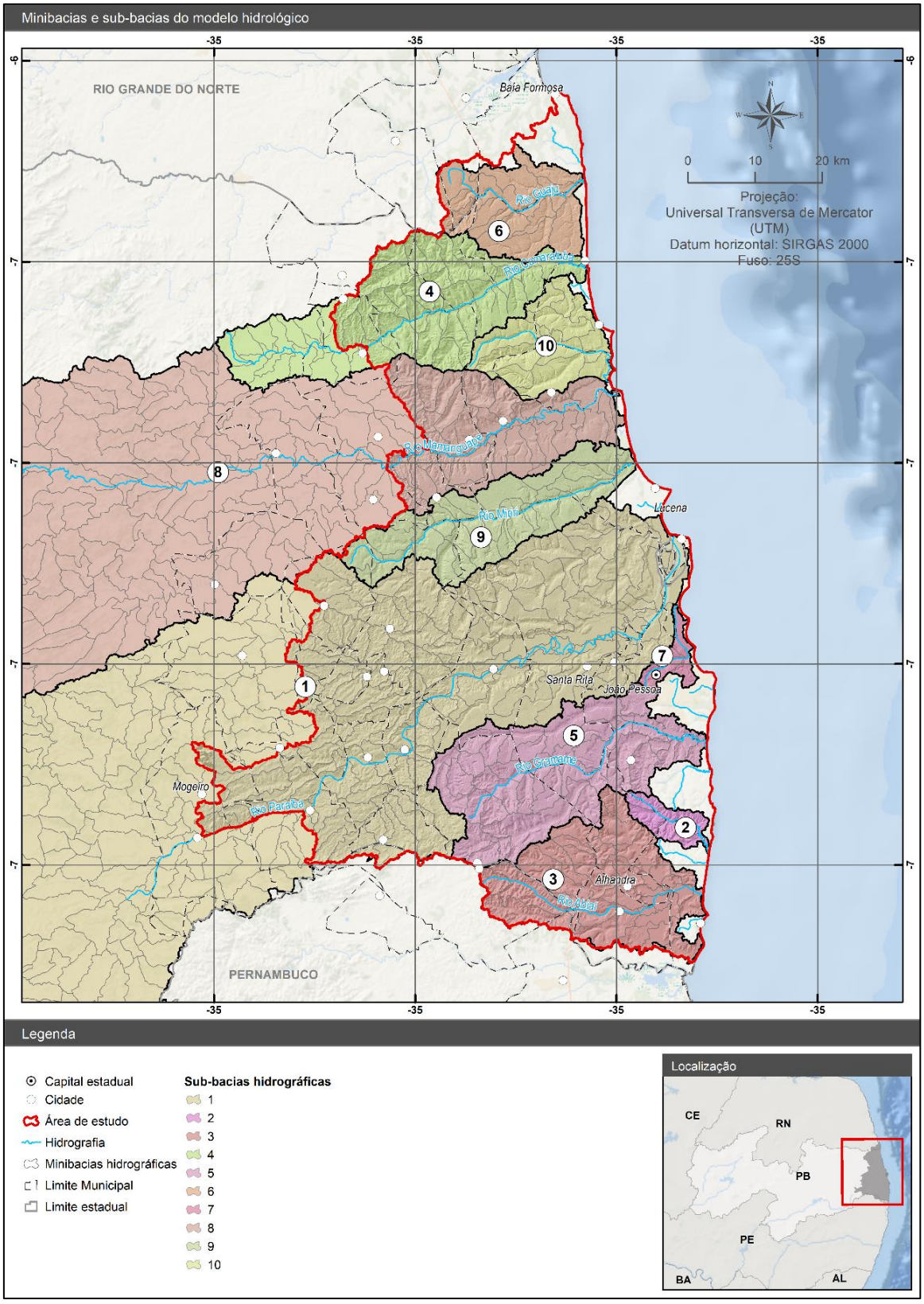


Figura 4.5 – Minibacias e sub-bacias do modelo hidrológico.

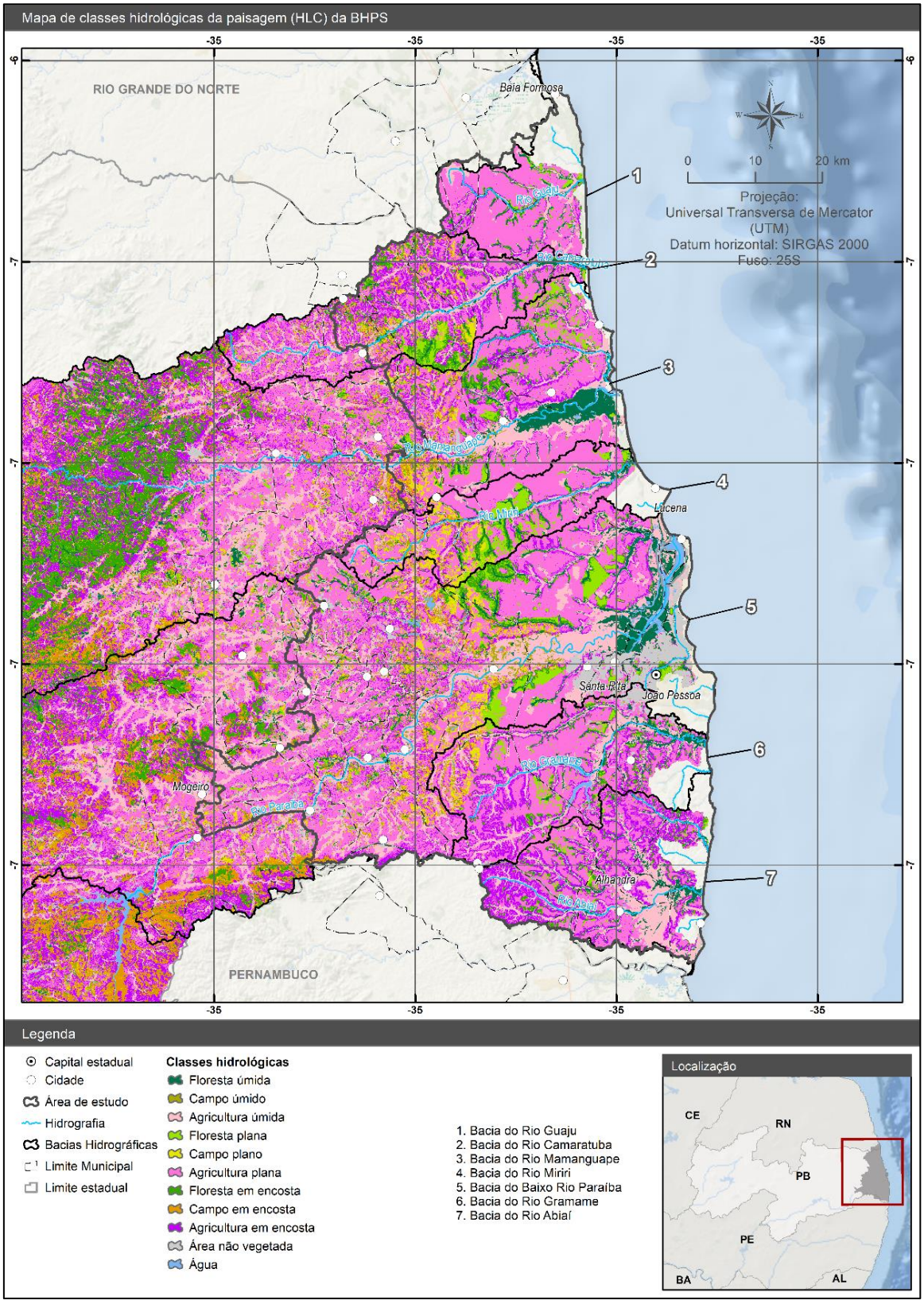


Figura 4.6 – Mapa de classes hidrológicas da paisagem (HLC) da BHPS.

Em relação aos dados de precipitação de entrada, foram utilizadas 121 estações com dados diários disponíveis na região. O processamento no modelo constrói uma série diária de vazões para cada minibacia com base nos dados disponíveis em determinado dia usando métodos de interpolação. A abordagem tira proveito, da melhor forma possível, do dado existente na região, mesmo que algumas séries de dados de estações sejam curtas. Maiores detalhes sobre todas as estações fluviométricas levantadas estão no diagnóstico do presente estudo.

Para calcular a evapotranspiração dentro do modelo MGB são utilizados dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação (horas de sol por dia). Esses dados foram obtidos por meio de estações climatológicas do INMET no site do Instituto Nacional de Meteorologia (https://portal.inmet.gov.br/normais).

Uma vez construído, o modelo foi simulado entre o período de 01/01/1994 e 31/12/2022 para manter a compatibilidade de análise com os dados de precipitação total anual levantados. A calibração de um modelo é um processo em que os valores dos parâmetros das bacias que não variam no tempo são modificados e seu efeito nos resultados é avaliado repetidamente, até que o hidrograma de vazões calculado reproduza o hidrograma observado com resultado adequado avaliado por meio de estimadores estatísticos. A seguir, é apresentada a proposta de abordagem de calibração do modelo usando estimadores estatísticos e resultados obtidos.

O coeficiente de *Nash-Sutcliffe* (NS) representa o quanto os resultados obtidos com o modelo são melhores que um modelo alternativo representado pelas vazões médias de longo período observadas. Os valores do coeficiente variam entre menos infinito e 1, valores próximos a 1 indicam que os resultados do modelo são superiores à média de longo período, valores próximos a zero indicam que os resultados são parecidos com a média, enquanto valores negativos indicam que o modelo é pior do que a média. A Equação 20 apresenta o coeficiente.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(QC_i - QO_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(QO_i - QO_m)^2}$$ Equação 20

em que "QC_i" é a vazão calculada em um intervalo de tempo "i", "QO_i" é a vazão observada em um intervalo de tempo "i" e "QO_m" é a vazão média de longo período no intervalo de tempo "N".

O erro relativo de volume (EV) permite avaliar se existe uma superestimativa ou uma subestimativa das vazões, o erro é relativo e apresentado em percentuais. De uma maneira ideal, os dados de erro de volume deveriam se manter dentro da faixa de - 10% e 10%, que é a incerteza associada às medições de vazão. A Equação 21 apresenta o cálculo do erro.

$$EV = \frac{\sum_{i=1}^{N} QC_i - \sum_{i=1}^{N} QO_i}{\sum_{i=1}^{N} QO_i} \qquad \text{Equação 21}$$

em que "QC_i" é a vazão calculada em um intervalo de tempo "i" e "QO_i" é a vazão observada em um intervalo de tempo "i". Dessa forma, o modelo foi calibrado para representar de forma aproximada os processos de escoamento superficial das bacias hidrográficas. Os resultados obtidos com o modelo estão apresentados no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Resultado da calibração do modelo hidrológico.

Estação	Nash-Sutcliffe (NS)	Erro de Volume (EV)
38895000	0,44	-8%
38888000	0,51	10%
38790000	0,61	-1%

4.1.3.2.2 Resultados do Modelo Hidrológico

No modelo hidrológico, foram extraídas as vazões geradas pelo escoamento superficial e subsuperficial da região não saturada do solo, esses valores juntos representam a vazão gerada nas drenagens que não chega nos aquíferos. Os valores foram obtidos para cada minibacia estudada, ou seja, cada minibacia apresentou os valores incrementais gerados no local. Os totais produzidos nas minibacias já convertidos para a unidade de "mm" estão apresentados na Figura 4.8. A Figura 4.7 apresenta um esquema representando o modelo hidrológico, onde em vermelho está indicada a origem das vazões usadas neste trabalho.

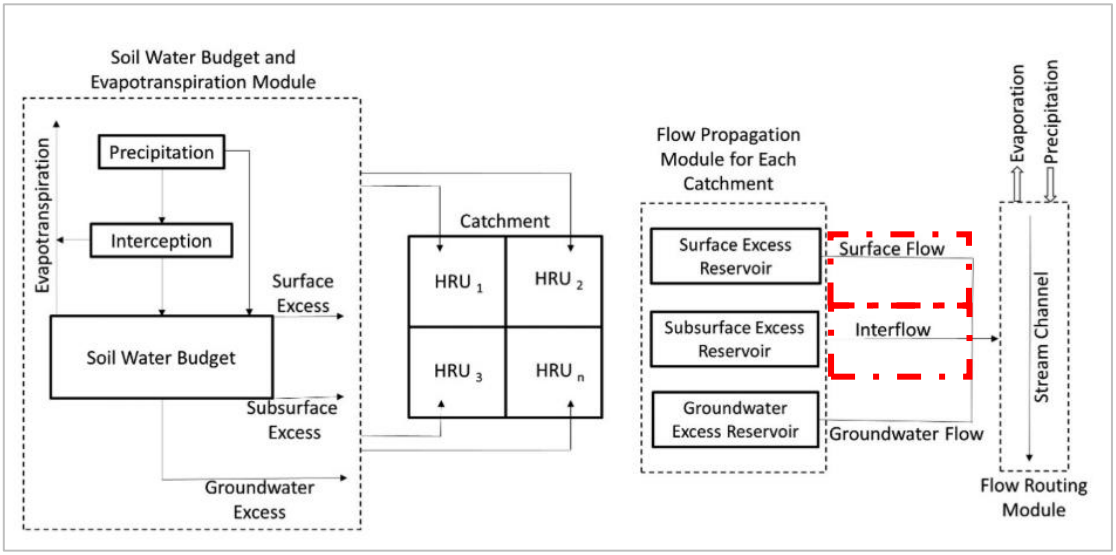


Figura 4.7 – Modelo Hidrológico MGB e geração de vazões a partir de diferentes compartimentos. Fonte: Melati *et al.*, 2023.

Os resultados (Figura 4.8) mostram claramente a geração de escoamento em termos de volume acompanhando o regime de totais pluviométricos na região. Onde as áreas localizadas a oeste e próximas ao oceano atingem os maiores valores, com destaque para as elevadas taxas de geração de escoamento superficial geradas na região urbanizada de João Pessoa, que ocorrem devido a elevada impermeabilização do solo na região. Já na região oeste da área de estudo, na bacia hidrográfica do rio Paraíba, ocorrem os menores valores de geração de escoamento superficial.

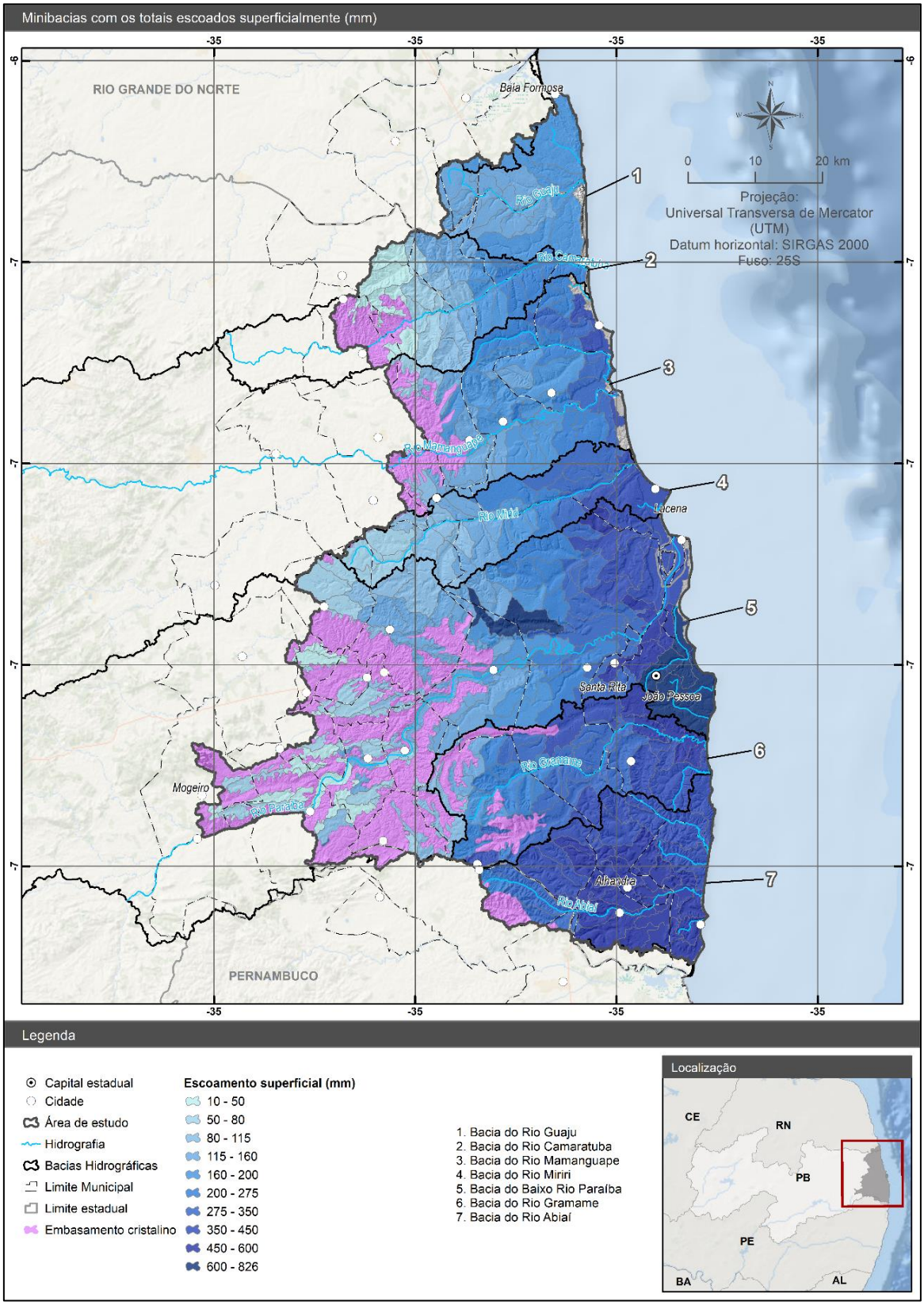


Figura 4.8 – Minibacias com os totais escoados superficialmente (mm).

4.1.3.2.3 Resultados da precipitação nas minibacias

Uma vez obtidas as minibacias, é possível apresentar os totais médios anuais de precipitação calculados a partir de ferramenta de geoprocessamento e dos dados apresentados no item 4.1.3.1, conforme pode ser observado na Figura 4.9. Essa informação é utilizada para a aplicação do cálculo da recarga subterrânea por balanço hídrico, as minibacias da análise do balanço tiveram.

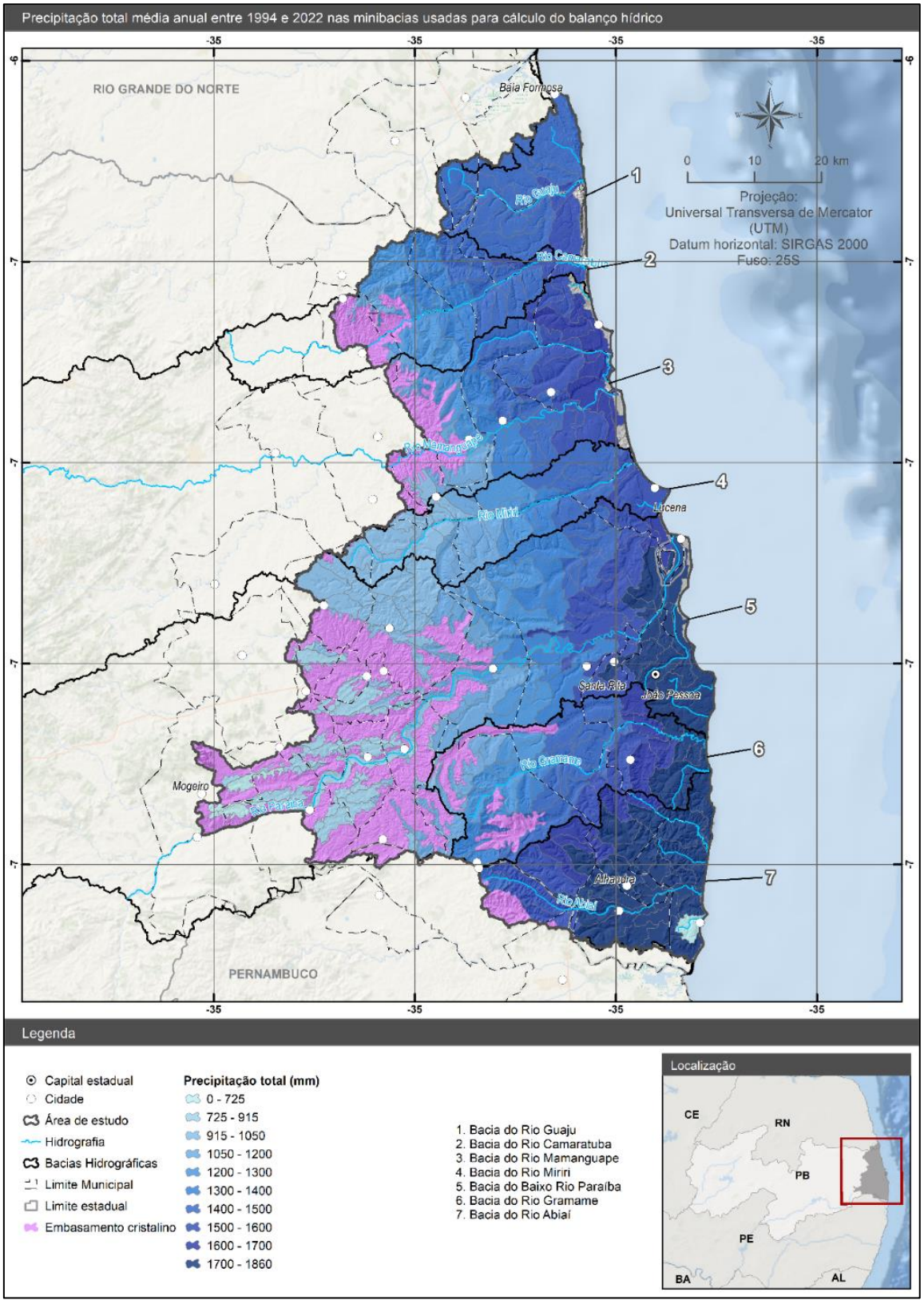


Figura 4.9 – Precipitação total média anual entre 1994 e 2022 nas minibacias usadas para cálculo do balanço hídrico.

4.1.3.3 Evapotranspiração Real (ETR)

O algoritmo MOD16 (MU; ZHAO; RUNNING, 2011) foi concebido para estimar a evapotranspiração global da superfície a partir de imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (Terra e Aqua) e dados meteorológicos provenientes do *Global Modeling and Assimilation Office* (GMAO). O algoritmo adapta a equação de *Penman-Monteith* para uso com dados de sensoriamento remoto.

A equação representa dois processos relacionados a condições da atmosfera, tem peso forte para dados climáticos e meteorológicos, e para a radiação (do balanço de energia), combinando as condições atmosféricas e radioativas. A equação tem a vantagem que nenhuma variável tem um peso muito grande, se uma variável estiver errada, não representa um erro final grande, pois o erro acaba sendo distribuído.

Os dados de entrada MODIS requeridos para o algoritmo MOD16 possuem resolução espacial entre 500 m e 1 km e incluem os produtos globais de uso e cobertura da terra, índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa e albedo, o produto foi disponibilizado ao público no ano de 2013. Com relação aos parâmetros meteorológicos necessários para o algoritmo, são utilizados dados de reanálise diários do GMAO referentes à radiação solar incidente, temperatura do ar e pressão de vapor da água, com resolução espacial de 1,00º x 1,25º (ZHAO *et al.*, 2005).

Diversos trabalhos já usaram MOD16 para obter estimativas de recarga de águas subterrâneas por balanço hídrico com resultados satisfatórios (JOVANOVIC *et al.*, 2015; LUCAS *et al.*, 2015; MELATI *et al.*, 2019; RAWAT *et al.*, 2012). Os totais anuais médios para as unidades de análise de balanço hídrico (minibacias) estão apresentados na Figura 4.10, onde é possível observar a variação da evapotranspiração real anual acompanhando a disponibilidade hídrica das chuvas da região e o uso e ocupação do solo da bacia. É possível destacar os menores valores verificados na região de João Pessoa devido a urbanização da região e os elevados valores em áreas de floresta existentes na região central da bacia. Os menores valores são observados na região sul e sudoeste da área de estudo.

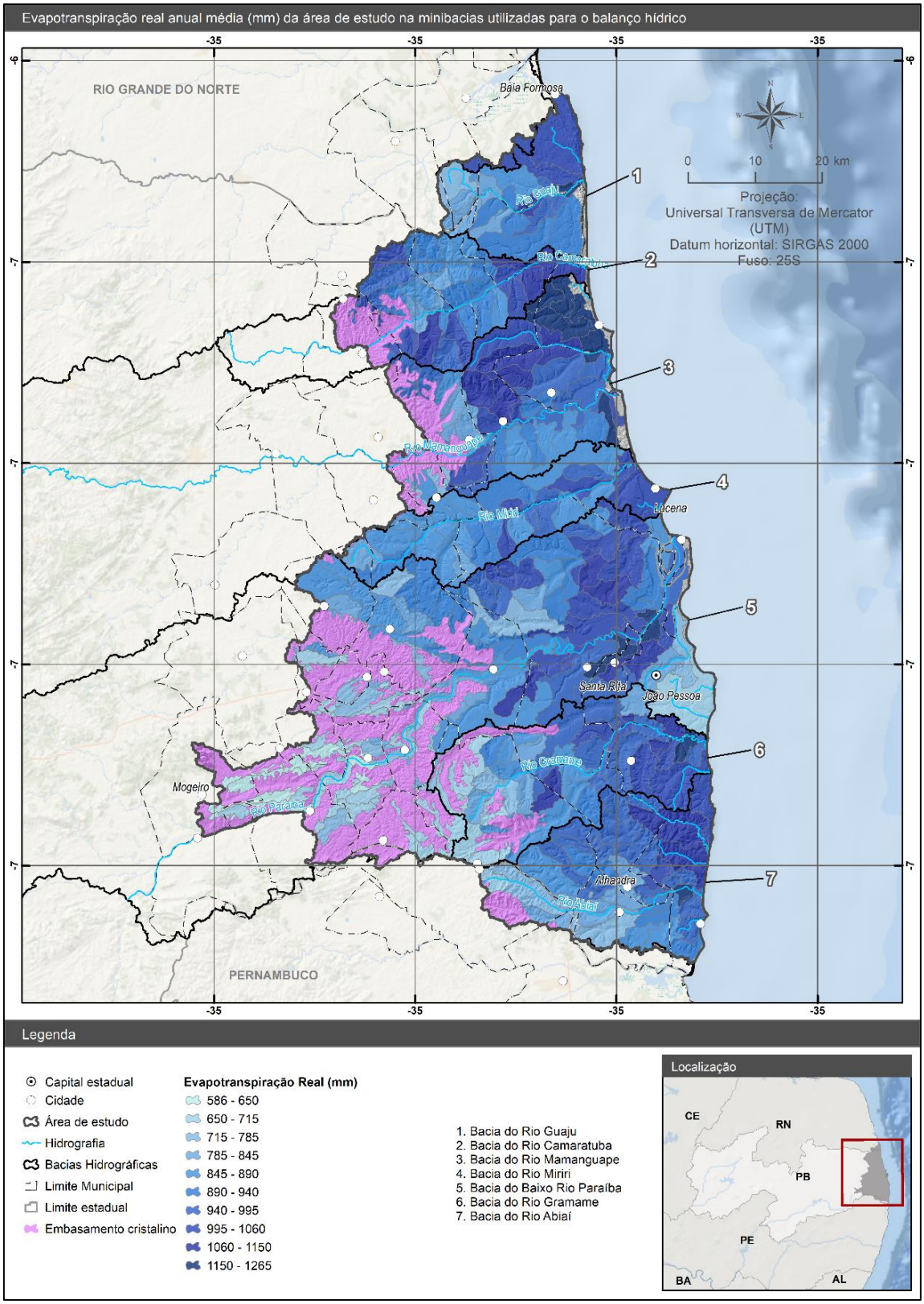


Figura 4.10 – Evapotranspiração real anual média da área de estudo na minibacias utilizadas para o balanço hídrico.

4.1.3.4 Resultados do Balanço Hídrico

O balanço hídrico para obtenção da recarga subterrânea foi feito para cada minibacia da área de estudo usando a equação apresentada no item 4.1.2.1. Os resultados para toda a área de estudo estão apresentados na Figura 4.13. Já na Figura 4.14, para auxiliar na interpretação dos resultados, é possível comparar os resultados de recarga total anual média com informações como a altimetria, o uso e ocupação do solo e às declividades da área de estudo. Por fim, A Figura 4.15 apresenta de forma integrada todas as variáveis utilizadas no balanço hídrico.

Os resultados para toda a área aflorante do aquífero sedimentar estudado totalizou um valor médio de recarga de 224 mm (956.497.033 m³ / 0,96 km³), o resultado foi obtido pela ponderação das minibacias de acordo com as suas áreas associadas. O valor representa um total de 16% de recarga em relação ao total precipitado na bacia inteira.

Ainda, nas Figura 4.11 e Figura 4.12 é possível observar a relação da recarga subterrânea em milímetros e porcentagem da chuva anual em relação a precipitação total anual. Os resultados mostram boa correlação entre recarga total e precipitação total anual (R^2 = 0,36), a nuvem de pontos não é linear uma vez que outros fatores também atuam nessa distribuição, como por exemplo, o uso e ocupação do solo e a dinâmica de evapotranspiração, onde áreas urbanizadas não permitem a água infiltrar e áreas de floresta atuam aumentando as taxas de evapotranspiração para a atmosfera. Já a relação entre a chuva total anual e a porcentagem de recarga pela chuva, é possível observar também boa relação entre os dados (R^2 = 0,14).

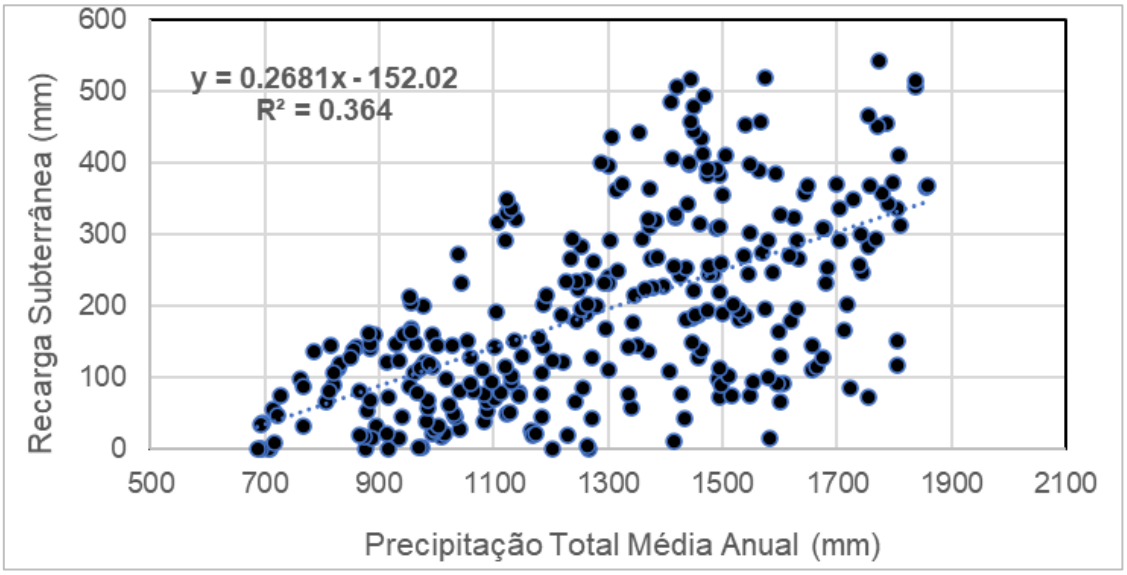


Figura 4.11 – Relação entre a precipitação total anual média e totais de recarga (mm) em cada minibacia avaliada.

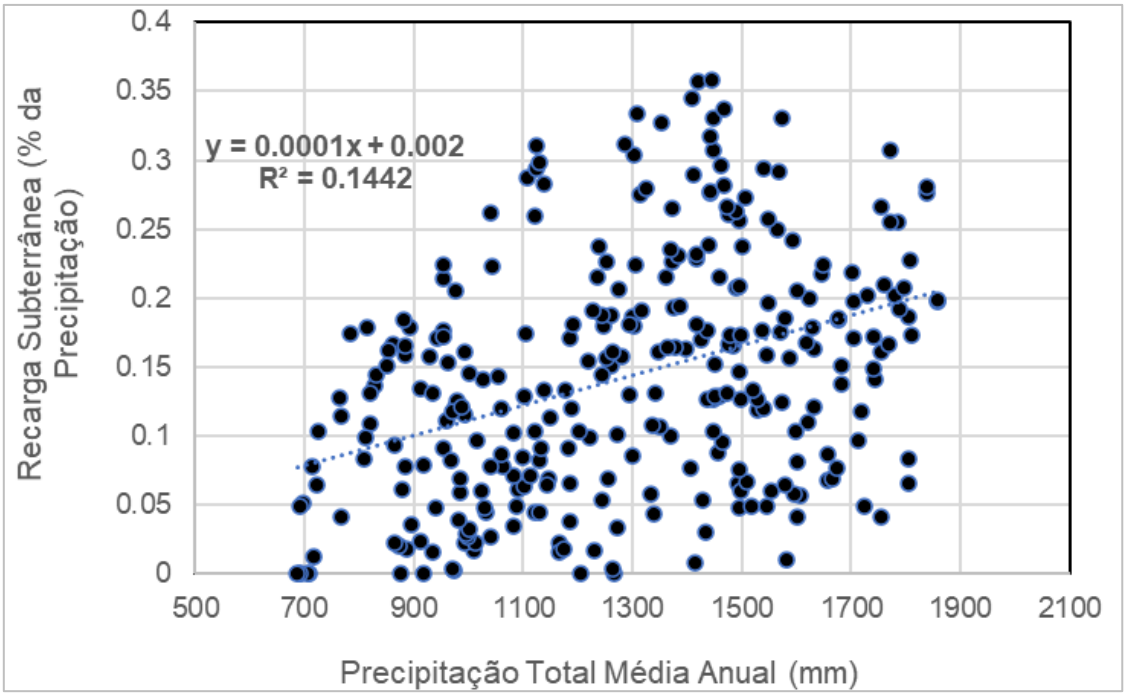


Figura 4.12 – Relação entre a precipitação total anual média e totais de recarga (% da chuva) em cada minibacia avaliada.

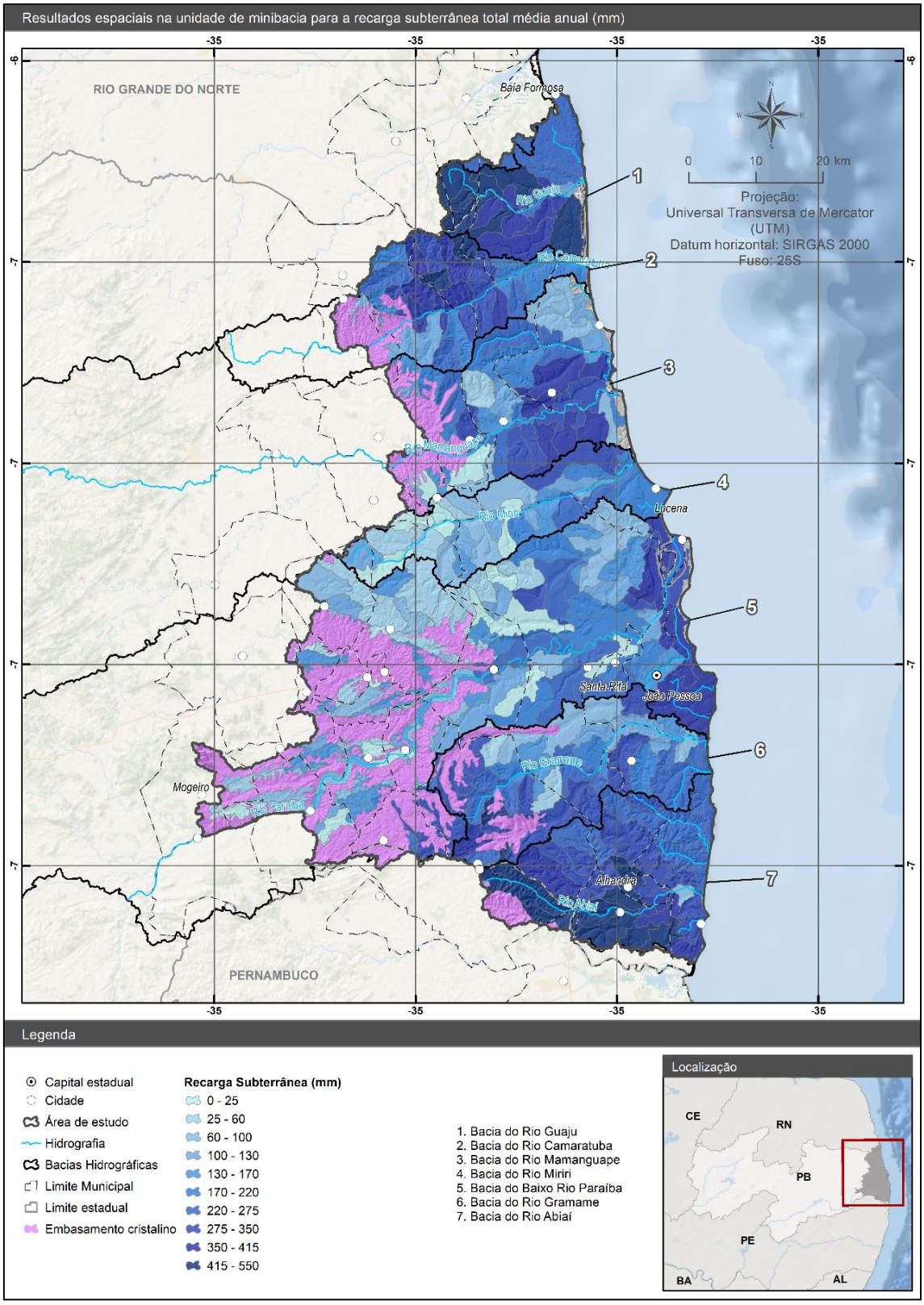


Figura 4.13 – Resultados espaciais na unidade de minibacia para a recarga subterrânea total média anual (mm).

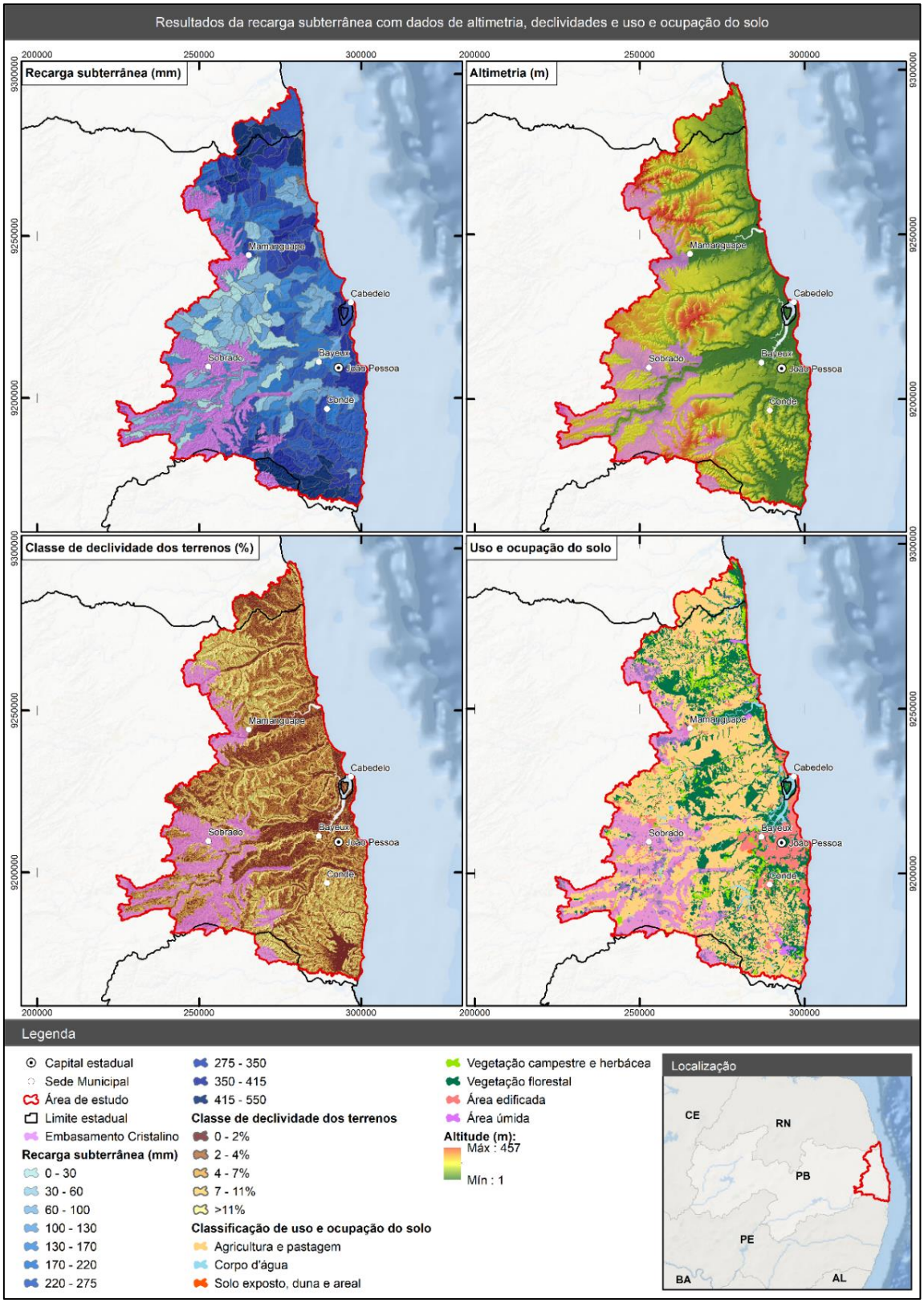


Figura 4.14 – Resultados da recarga subterrânea com dados de altimetria, declividades e uso e ocupação do solo.

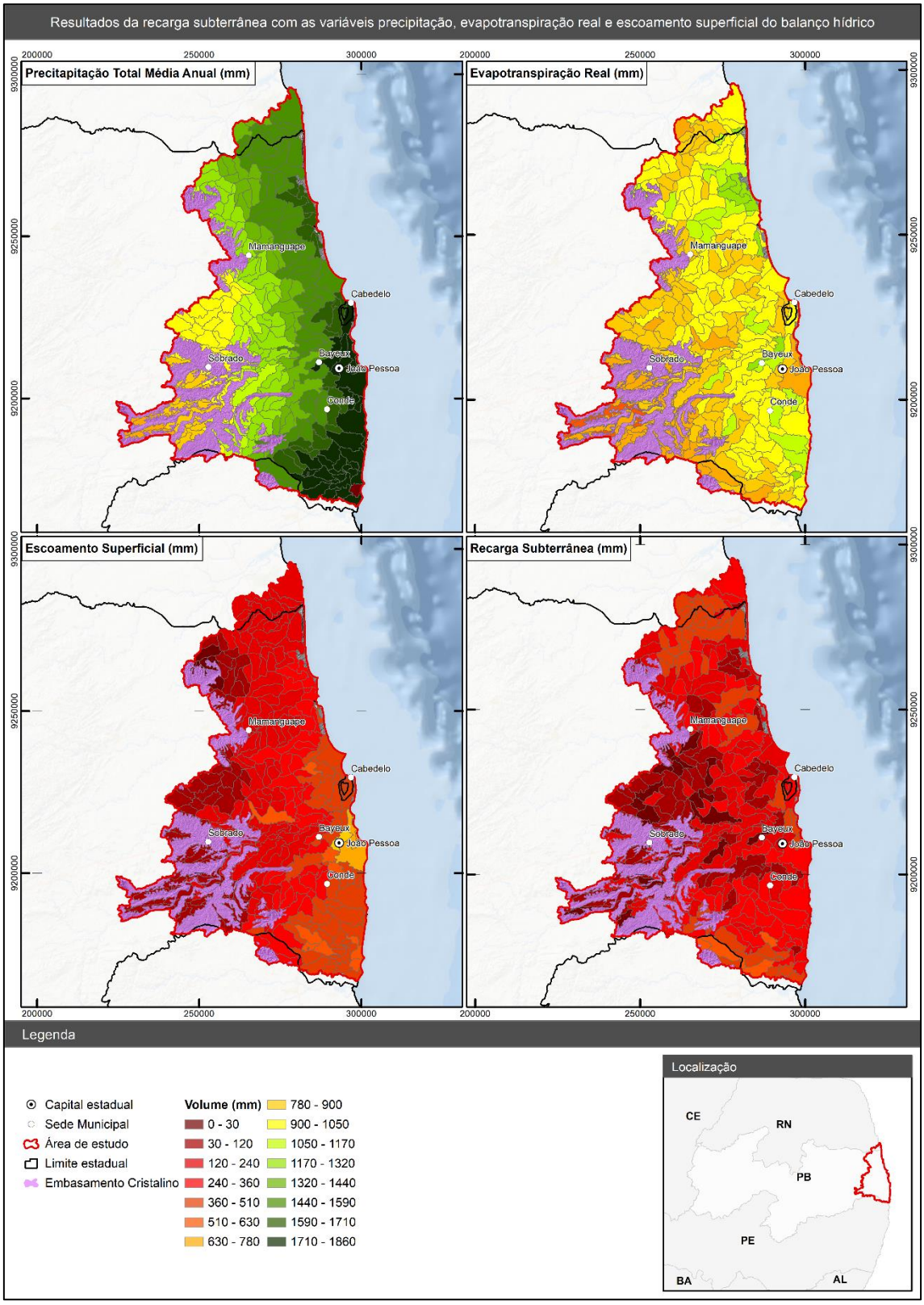


Figura 4.15 – Resultados da recarga subterrânea com as variáveis precipitação, evapotranspiração real e escoamento superficial do balanço hídrico.

4.1.4 *Método de Avaliação das Variações de Armazenamento nos Aquíferos usando Gravimetria (GRACE).*

Com início no ano de 2002 e atualmente em operação, as missões representadas pelos satélites GRACE *(Gravity Recovery and Climate Experiment*) (TAPLEY *et al.*, 2004) e GRACE *FollowOn* (FRAPPART; RAMILLIEN, 2018) monitoram as variações do armazenamento terrestre de água, fornecendo estimativas verticalmente integradas de mudanças no armazenamento de água terrestre (TWS) em todo o mundo, que inclui mudanças de armazenamento da neve, da água da superfície, da umidade do solo e do armazenamento das águas subterrâneas (Figura 4.16).

Os dados do GRACE são fornecidos na forma de variação temporal mensal do volume de água armazenada. Neste trabalho, para facilitar a aplicação dos métodos, os dados estão apresentados como anomalia (valor mensal subtraído da média da série temporal).

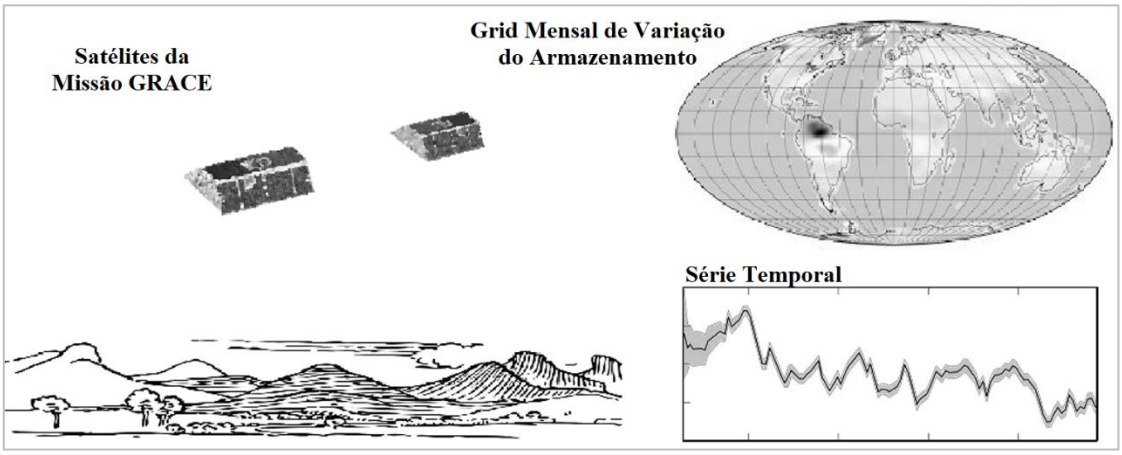


Figura 4.16 – Representação dos satélites da missão GRACE e dados globais. Fonte: Melati *et al.* (2022).

Geralmente, a principal limitação do GRACE é a sua resolução espacial, inicialmente disponível com pixel de 300 km (TAPLEY *et al.*, 2004) e atualmente disponível com resolução de 1° (LANDERER; SWENSON, 2012; SAVE; BETTADPUR; TAPLEY, 2016; WIESE; LANDERER; WATKINS, 2016), tornando desafiador associar as estimativas do GRACE a observações pontuais in-situ (HUANG *et al.*, 2016) ou para estudar áreas menores que a sua resolução (SCANLON; LONGUEVERGNE; LONG, 2012). Dessa forma, os resultados obtidos aqui são apresentados somente em relação à totalidade da

área de estudo. Aplicações do GRACE para áreas menores necessitam análises mais aprofundadas com apoio de dados de campo para validação, não inteiramente disponíveis neste estudo.

No presente trabalho foi usado o produto global Mascons RL06 (0.5°) versão 2 (WATKINS *et al.*, 2015) que é a versão mais atual do GRACE e já incorpora e unifica os dados das duas missões dos satélites. Os dados obtidos foram multiplicados pelo fator de escala baseado no modelo NCAR's CLM4, isso permitiu reduzir a escala do produto. A extração das séries históricas de TWS do GRACE são feitas a partir dos dados disponibilizados pela NASA/JPL (https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data).

O modelo redistribui as variações de massa dentro do pixel de acordo com os resultados do modelo hidrológico. Os dados foram obtidos na escala mensal compreendendo o período entre 2002 e 2022. As séries foram fornecidas como uma única série temporal em arquivo NetCDF. Embora o GRACE tenha baixa resolução quando comparado a outros modelos distribuídos mais detalhados, ele tem a vantagem de ter uma medição direta do aquífero, algo muito difícil de conseguir com dados de poços devido à heterogeneidade dos aquíferos e escassez de dados hidrogeológicos. Sendo assim, é uma poderosa ferramenta de validação de resultados de volumes hídricos subterrâneos.

4.1.4.1 Resultados do TWS GRACE

A série histórica de anomalia obtida para o GRACE está apresentada na Figura 4.17. Os resultados mostram períodos distintos na região com maior e menor armazenamento total de água, que é majoritariamente controlado pelas reservas subterrâneas. Entre os anos de 2003 e 2011 foi verificada grande disponibilidade hídrica na bacia, posteriormente, uma estiagem que se estendeu de 2012 até 2019 implicou em períodos críticos de disponibilidade armazenada. O total armazenado na região apresenta uma amplitude de variação de 367 mm de coluna d'água. Para melhor compreender a disponibilidade hídrica da região, foi feito o cálculo de aumento anual médio de reservas, na avaliação foi considerado como aumento o prolongamento da recessão no período seco até o pico atingido no período de recarga seguinte, a abordagem é similar ao método WTF apresentado no item 4.1.2. O valor médio anual de aumentos usando os anos com dados disponíveis completos foi de 244 mm.

Ao usarmos o valor médio do GRACE para cálculo da recarga subterrânea na área do aquífero sedimentar estudado, temos um total de 1.042.856.000 m³ ou 1,04 km³. Ao avaliar esse valor em relação ao total precipitado na área de estudo, o valor em porcentagem fica de 17,4%.

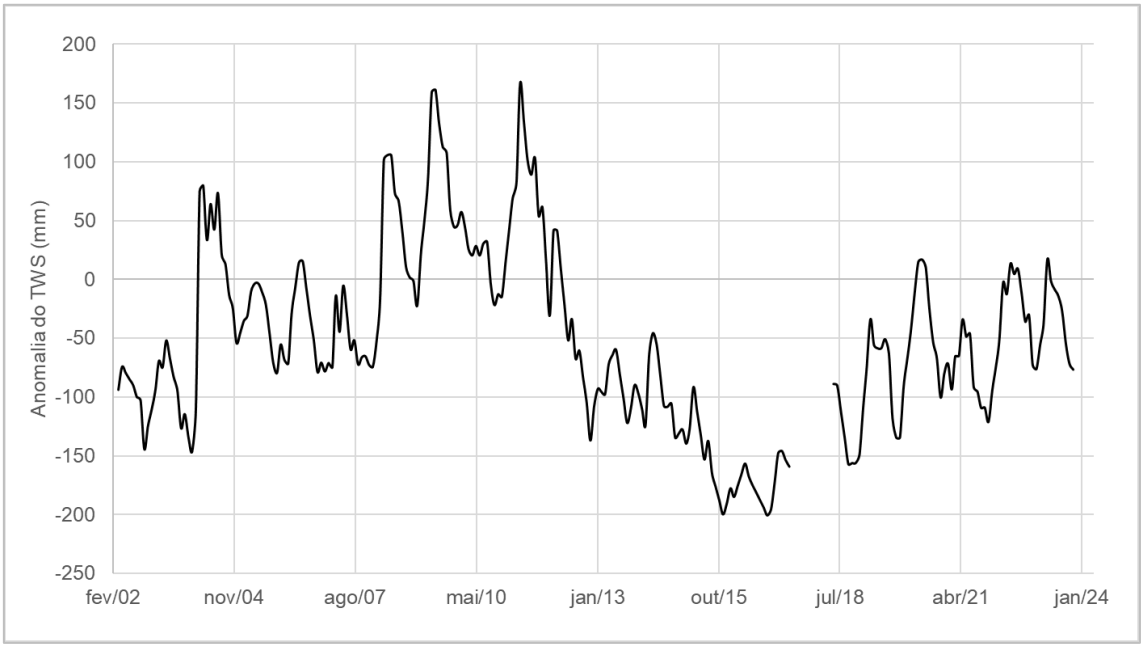


Figura 4.17 – Resultados mensais de TWS para a região da área de estudo.

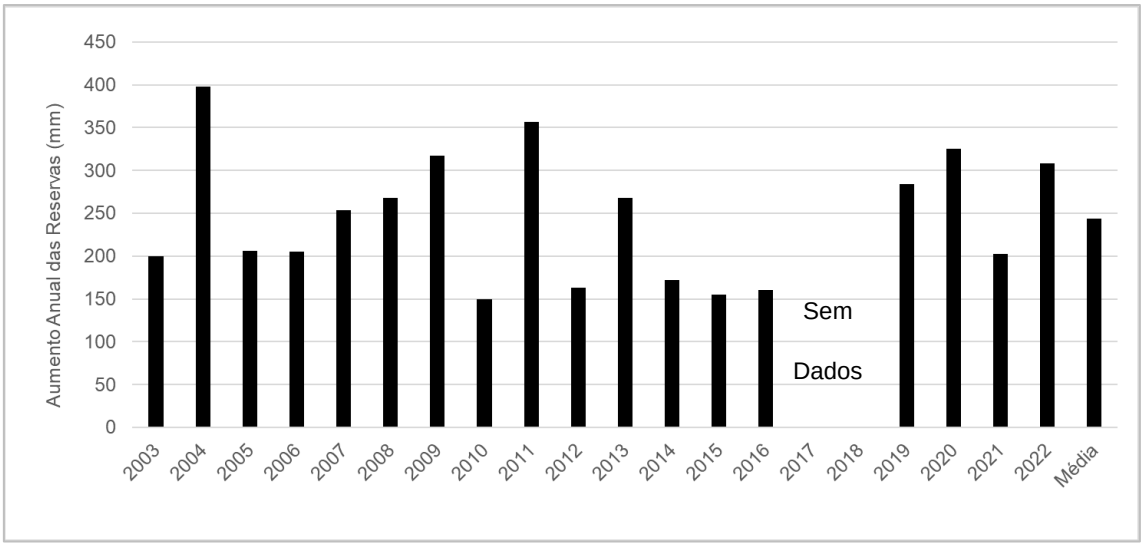


Figura 4.18 – Aumento anual das reservas armazenadas na região usando o TWS do GRACE.

4.1.5 *Comparação entre os resultados dos diferentes métodos de quantificação da recarga subterrânea*

Conforme sugerido na literatura, a aplicação de diferentes métodos precisa ser comparada e discutida para que valores representativos possam ser adotados na gestão das águas subterrâneas. Sendo assim, o presente item compara os três métodos para verificação final dos resultados. A comparação é feita somente para a área onde está localizada a rede de poços de monitoramento que teve a recarga calculada pelo método WTF usando valores médios. Sendo os resultados mostrados aqui diferentes dos obtidos para a área de estudo como um todo e apresentado anteriormente. Algumas questões precisam ser levadas em consideração quando os métodos são comparados:

- Temporalmente os métodos não são equivalentes. O GRACE usa dados entre 2002 e 2023 (sem considerar 2017 e 2018), o WTF usa dados de poucos anos monitorados pela rede, e o Balanço Hídrico usa dados entre 1994 e 2022;
- Espacialmente o GRACE tem resolução grosseira, então não foi possível comparar somente a sua fração associada à localização dos poços;
- Os resultados do BH são valores médios de cada minibacia, e os resultados do WTF nos poços são pontuais e tiveram valores médios utilizados;
- A não existência de correlação entre os resultados não é garantia de resultados inconsistentes, assim como a existência de correlação boa também não pode ser considerado uma garantia de consistência dos resultados (HEALY, 2010).

Os resultados médios para os três métodos para as áreas coincidentes estão apresentados no Quadro 4.10 e as áreas coincidentes estão apresentadas na Figura 4.19. A figura não apresenta a comparação dos resultados do GRACE pois em função da baixa resolução espacial, este usou apenas um valor médio para toda área do SAPP, conforme explicado anteriormente.

Foi possível observar que os resultados convergem em grandeza respeitando as inerentes incertezas associadas, a estimativa do satélite GRACE ficou acima das outras avaliadas, contudo, os métodos WTF e BH variaram somente 11 mm entre eles.

Quadro 4.10 – Resultados dos métodos de recarga subterrânea em áreas coincidentes.

Método	Recarga (mm)	Recarga (%)	Período Utilizado
WTF	226	15%	2010, 2012, 2013, 2016, 2017, 2018, 2019
Balanço Hídrico	237	15,70%	1994 - 2022
GRACE	244	16,20%	2002 - 2023

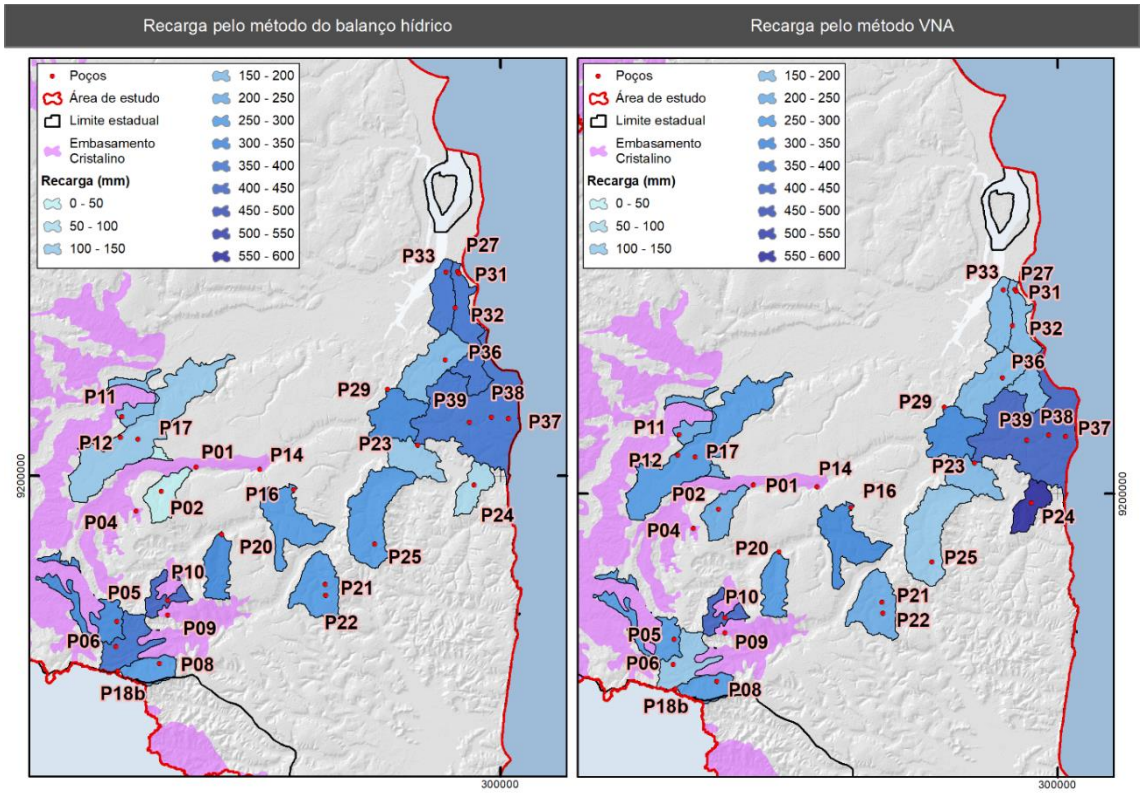


Figura 4.19 – Comparação entre os métodos de forma espacial.

Ainda, para observar com maiores detalhes os resultados entre os dois métodos, foram separados poços com recarga obtida pelo WTF calculada com ao menos três anos de dados para comparação os resultados nas minibacias coincidente no espaço. O gráfico de dispersão está apresentado na Figura 4.20.

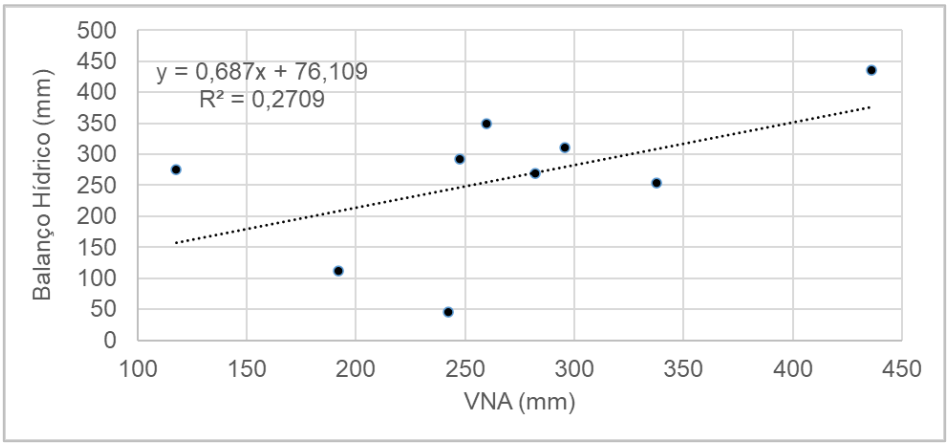


Figura 4.20 – Comparação entre os métodos WTF e BH em poços com ao menos três anos de dados.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se que os resultados do Balanço Hídrico sejam utilizados na gestão das águas subterrâneas das bacias pelos seguintes motivos:

- Representatividade espacial de toda a área de estudo respeitando as variações espaciais dos parâmetros hidroclimáticos;
- Representação temporal da variação das disponibilidades, incorporando períodos secos e períodos úmidos;
- Resolução espacial precisa para melhor estimar a recarga nas zonas de gerenciamento.

Sendo assim, de acordo com o exposto acima, sugere-se que para contabilizações futuras da recarga sejam utilizados os métodos de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 4.21. Ou seja, é preciso avaliar se existem dados de níveis estáticos na área que se quer estudar com distribuição espacial adequada dos poços. Caso ocorra essa situação, o método do WTF pode ser utilizado e é o mais indicado. Caso não exista, o método do balanço hídrico deve ser a escolhido pois apresentou resultados satisfatórios nas regiões em que foi comparado com o método WTF.

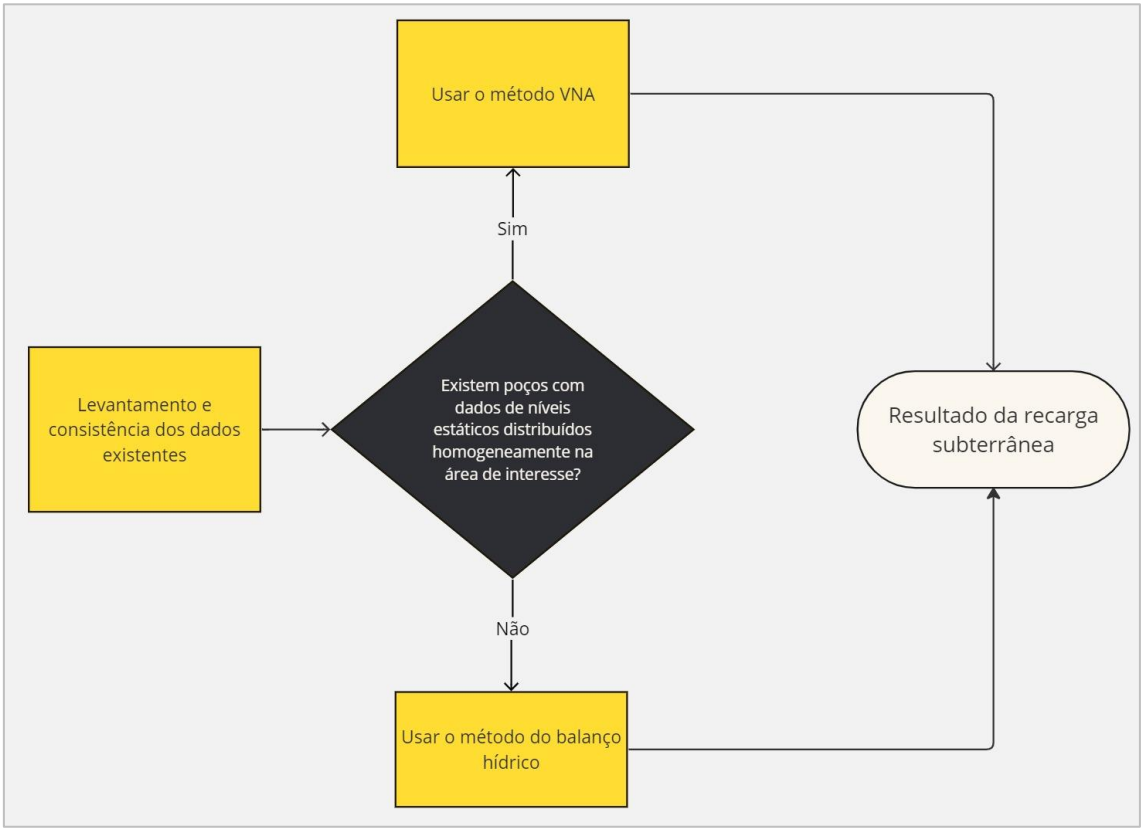


Figura 4.21 – Fluxograma de decisão para escolha do método de cálculo de recarga a ser utilizado.

4.1.5.1 Comparação dos resultados na bacia hidrográfica do rio Gramame

A bacia hidrográfica do rio Gramame é a única da área do SAPP que possui uma distribuição homogênea espacial de poços com dados históricos de níveis estáticos, sendo assim, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos pelo método do WTF e do balanço hídrico apenas para esta bacia (Quadro 4.11). Os resultados do método do GRACE não foram usados em função da escala, conforme discutido anteriormente.

Quadro 4.11 – Resultados dos métodos de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do rio Gramame.

Método	Recarga (mm)	Recarga (%)	Período Utilizado
WTF	237	17	2010, 2012, 2013, 2016, 2017, 2018, 2019
Balanço Hídrico	242	17	1994 - 2022

Observando os resultados apresentados no Quadro 4.11, é possível notar que houve excelente convergência para essa bacia hidrográfica em termos de volumes totais. Isso

reforça o fato de que ambos os métodos são aplicáveis para a área de estudo e, embora o WTF seja um método de medição direta dos aquíferos, o método do balanço hídrico pode ser usado para locais em que medições são mais escassas, pois reflete resultados similares ao de medição direta por representar de forma adequada os diversos elementos físicos e climatológicos que regem o processo de recarga dos aquíferos.

4.1.6 *Comparação dos resultados obtidos com os de outros trabalhos*

Dados de precipitação atmosférica têm sido utilizados com frequência para a estimativa da recarga dos aquíferos do Sistema Paraíba (p. ex. PERH-PB, 2006; SUDENE/CONESP-OESA, 1975; COSTA *et al.*, 2007). Esses autores estimaram uma recarga variando de 11% a 15% para o SAPP. Os valores estão ligeiramente abaixo do valor médio calculado para toda a área de estudo usando o método do balanço hídrico (16%), WTF (17%) e GRACE (17,4%).

O trabalho de Fernandes (2017) utilizou o método WTF (WTF) para cálculo da recarga no ano de 2016, que teve chuvas abaixo da média histórica. Os valores obtidos no aquífero livre na Bacia Gramame ficaram em 1852mm (11,7% da precipitação total do local). O trabalho de Coelho (2011) calculou a recarga do aquífero livre na Bacia Gramame com valores entre 53 mm e 105 mm (10,3% da precipitação atmosférica), foram usados dados dos anos de 2009 e 2010, que tiveram precipitação abaixo da média, o que justifica os baixos valores obtidos. O presente estudo, no mesmo local, obteve o valor de 240 mm usando dados de diversos anos, o valor acima obtido está associado com o uso de muitos dados do ano de 2017, que teve chuvas acima de média e aumentaram o valor médio estimado.

4.2 RECARGA SUBTERRÂNEA – AQUÍFERO CONFINADO

Na região sudeste da área de estudo, conforme apresentado no capítulo 3.1, abaixo da formação Barreiras aflorante ocorre o Aquitardo Gramame. Essa formação aflora em extensão reduzida de apenas 23 km², numa faixa descontínua orientada NW-SE, no extremo sul da área de estudo, onde encontra-se sobreposto ao Aquífero Beberibe. É composto de sucessão de calcários e margas depositados em uma plataforma carbonática. Sondagens elétricas indicaram que essa unidade hidroestratigráfica ocorre descontinuamente no sistema e de modo restrito no norte da área de estudo (COSTA

et al., 2007). Segundo Furrier *et al.* (2006), essa unidade é encontrada somente até 20 quilômetros continente adentro. Sua espessura pode atingir até mais de 100 m e a média é de 50 m (COSTA *et al.*, 2007). É caracterizado como de extensão local, heterogêneo, descontínuo e de porosidade granular. Abaixo deste aquitardo ocorre parte do aquífero Beberibe, que está assentado sobre as rochas pré-cambrianas do embasamento.

Considerando a importância da delimitação do Aquitardo Gramame para a gestão dos recursos hídricos do SAPP, no capítulo 3.1 foi definido um perímetro preliminar para esse aquitardo (Figura 3.10), a partir da integração das diversas informações apresentadas no mesmo capítulo. Ainda, foram definidas as espessuras do aquitardo para a área de ocorrência dele (Figura 3.11), conforme discussões apresentadas no capítulo de diagnóstico.

Esse item busca quantificar de forma aproximada e respeitando as limitações da abordagem a recarga subterrânea do aquífero Beberibe sob confinamento pelo aquitardo Gramame. Além da geometria do aquitardo, é necessário saber as dimensões do aquífero confinado, para isso também é necessário conhecer a base do embasamento, levantado no capítulo 2 de diagnóstico deste estudo, e apresentado na Figura 2.95. A região entre o aquitardo e o embasamento representa o volume total do aquífero confinado. Por fim, para auxiliar na compreensão do método a ser empregado na avaliação da recarga, o modelo conceitual de fluxo subterrâneo da região com ocorrência do aquitardo Gramame está apresentado na Figura 3.45.

O Aquitardo Gramame, conforme descrito no modelo conceitual, forma uma barreira hidráulica que impede ou dificulta a percolação de água da chuva para o aquífero confinado. Na região costeira, onde o Aquitardo Gramame está presente (Figura 3.10), ocorre uma situação peculiar, na qual observa-se o fenômeno de compressão do fluxo subterrâneo regional abaixo dessa unidade carbonática, resultando na formação do subsistema confinado do Aquífero Beberibe.

4.2.1 *Método de Recarga – Taxas de Fluxo*

Uma forma de obter a recarga subterrânea de aquíferos confinados é baseada na análise gráfica de fluxos subterrâneos usando linhas potenciométricas, o método é

largamente utilizado na literatura para cálculo de recarga subterrânea e foi inicialmente proposto por (FORCHHEIMER, 1930), maiores detalhes sobre o método podem ser encontrados em (Healy, 2010). O método também é conhecido como “vazão de escoamento natural” (VEN) e é muito usado para estimativas de reservas reguladoras de aquíferos. No método assume-se um fluxo contínuo em um plano de duas dimensões e é representado pela equação de Darcy, que está apresentada na Equação 22.

$$Q = A.Ks.\frac{\Delta H}{\Delta l} \qquad \text{Equação 22}$$

Onde A é a seção transversal; Ks é a condutividade hidráulica; $\frac{\Delta H}{\Delta l}$ é o gradiente hidráulico no local da seção obtido pelas linhas potenciométricas; e Q é o fluxo de água para dentro da região estudada considerada como a recarga subterrânea do aquífero confinado.

Para a aplicação da equação, foram definidas seções verticais (Figura 4.22) respeitando as linhas de fluxo e zonas de gestão das águas subterrâneas definidas neste estudo. Em cada uma dessas seções verticais foram obtidos os parâmetros da equação (Quadro 4.12). Os dados de gradiente hidráulico foram obtidos por meio da espacialização e interpolação de poços no local. A condutividade hidráulica foi obtida por meio dos parâmetros apresentados no capítulo 3 deste estudo. Já a altura média da seção foi obtida a partir dos valores médios de altitude do terreno, espessura média da formação Barreiras, cota média do topo do embasamento cristalino e espessura média da formação Gramame no local da seção. Por fim, a recarga subterrânea foi calculada para cada seção nas unidades utilizadas no presente estudo (m³ e mm).

Na Figura 4.22 e no Quadro 4.12 também são apresentados os resultados por subzona de gerenciamento contempladas na região do aquífero confinado. As subzonas foram definidas no âmbito deste mesmo trabalho e os critérios e metodologias aplicados para sua definição estão detalhados no capítulo 4.3.

Os resultados obtidos para todo o sistema aquífero confinado foram de 32.837.669 m³ e 50,4 mm. Este valor é o total que se desloca anualmente para a área confinada e sendo considerada a recarga desse sistema.

Quadro 4.12 – Cálculo da recarga subterrânea do aquífero confinado.

Seção Horizontal	B	A	C	D	G	F	H
Comprimento (m)	20035	5123	2971	11019	2624	18441	4537
I (m/m)	0,003			0,006		0,004	
Condutividade Hidráulica (m/ano)	851,5	851,5	851,5	851,5	851,5	851,5	851,5
Altura Média da Seção (m)	55,2	73,0	63,4	92,1	221,1	262,6	241,7
Altitude SRTM (m)	33	4	69	18	38	5	24
Espessura GRAMAME (m)	49	46	46	49	39	44	34
Cota Embasamento (m)	-101	-145	-71	-154	-252	-331	-282
Espessura Média Barreiras (m)	30	30	30	30	30	30	30
Recarga (m^3)	2.664.382	900.199	453.697	4.845.630	2.769.392	17.289.832	3.914.536
Subzona de Gerenciamento	Subzona 13		Subzona 12			Subzona 10	
Área (km^2)	243,2		183,1			197,8	
Recarga (mm)	14,7		44,1			107,2	

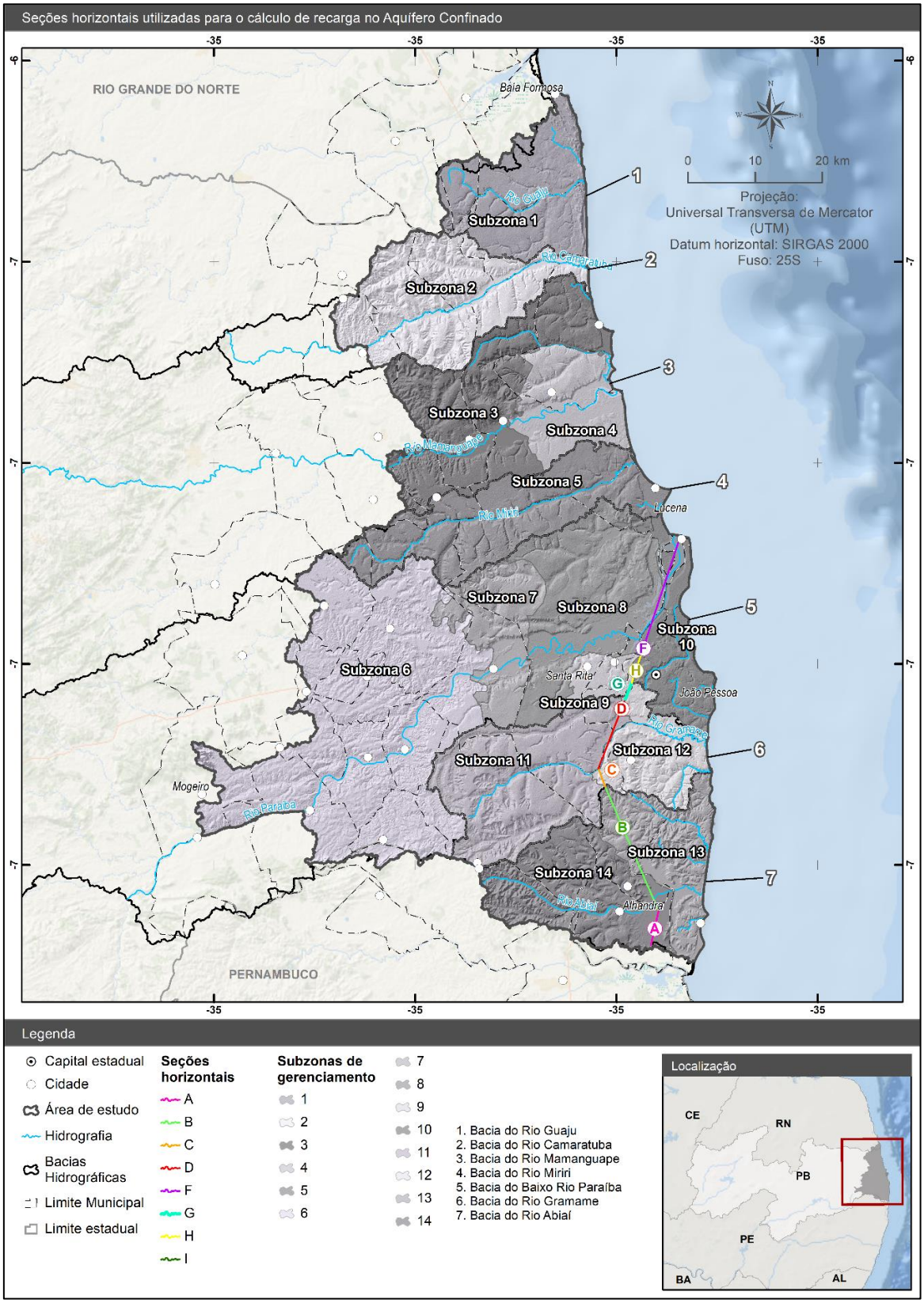


Figura 4.22 – Seções verticais usadas no cálculo da recarga do aquífero confinado.

4.3 DELIMITAÇÃO DAS ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO E ESTIMATIVAS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Com base em informações coletadas e geradas nos capítulos anteriores (diagnóstico e modelo conceitual) e as informações de recarga obtidas nos itens 4.1 e 4.2 deste documento, as zonas e subzonas de gerenciamento foram estabelecidas e delimitadas. Esse processo considerou as características do fluxo do aquífero e sua interação com as águas superficiais por meio das bacias hidrográficas. Além disso, foram ponderados critérios relacionados à escala da bacia hidrográfica, à escala regional do comportamento do fluxo subterrâneo (como áreas de recarga e descarga) e, por fim, à escala local dos poços. A divisão da área de estudo levou em consideração os seguintes aspectos:

a. Os itens abaixo (i a iii) estão considerados nos estudos do item 4.1:

    i) Hidrografia

    ii) Climatologia

    iii) Geomorfologia

b. Os itens abaixo foram considerados para o refinamento da definição das subzonas:

    i) Recarga e descarga do aquífero;

    ii) Características hidrogeológicas das formações que compõe a porção do sistema aquífero;

    iii) Conexões com os ecossistemas;

    iv) Condições de uso e cobertura do solo;

    v) Vulnerabilidades do aquífero;

    vi) Densidade de poços;

    vii) Fontes de poluição;

    viii) Qualidade das águas subterrâneas.

4.3.1 *Ponderação de temas para definição das zonas e subzonas de gerenciamento*

Dos temas acima listados no item “b”, cinco deles foram escolhidos para realizar uma análise prévia na área de estudo, sendo eles: uso do solo, conexão com ecossistemas, densidade de poços, recarga e descarga de aquíferos e vulnerabilidade. Eles foram analisados de maneira abrangente através de uma matemática de *rastes* atribuindo, para cada um, diferentes pesos de acordo com a relevância para outorga. Dentro de cada tema, foram também atribuídas notas para as diferentes classes existentes. Os demais temas, que não foram utilizados nessa análise prévia, serviram como dados de entrada para uma análise posterior, que é apresentada ao longo desse item.

Como esses critérios são subjetivos e dependem da percepção técnica dos envolvidos, optou-se por fazer o preenchimento dos pesos e das notas individualmente por cada membro da equipe técnica da empresa consultora e também pelos técnicos da AESA. O resultado do preenchimento de cada um está apresentado no Anexo XII. O resultado do valor médio obtido está apresentado no Quadro 4.13 para os pesos e no Quadro 4.14 para as notas de cada tema. A fórmula de cálculo utilizada está apresentada na Equação 23. E os mapas dos temas utilizados estão apresentados de forma resumida na Figura 4.23.

$$R = (\mathrm{P1} * \mathrm{N1}) + (\mathrm{Pn} * \mathrm{Nn}) \ldots \qquad \text{Equação 23}$$

Em que “R” é o resultado, “Pn” são os pesos e “Nn” são as notas utilizadas conforme os quadros abaixo. O processamento foi realizado para cada pixel do *raster* e o resultado pode ser visto na Figura 4.24.

Quadro 4.13 – Resultado médio do preenchimento dos pesos para matemática de *rasters* que subsidiou a definição das subzonas de gerenciamento.

Descrição	Pesos
Uso do solo (P1)	0,13
Conexão com ecossistemas (P2)	0,11
Densidade de poços (P3)	0,25
Recarga e descarga de aquíferos (P4)	0,35
Vulnerabilidade (P5)*	0,16

*a obtenção da vulnerabilidade está apresentada no Anexo XIII.

Quadro 4.14 – Resultado médio do preenchimento das notas para matemática de *rasters* que subsidiou a definição de zonas e subzonas de gerenciamento.

Uso do Solo (N1)		**Conexão com Ecoss. (N2) Ambientes de Ucs e APPs**		**Densidade de poços (N3) Intensidade de explotação, Kernel Density**		**Recarga (N4)**		**Vulnerabilidade (N5)**	
Classe	**Nota**	**Classe**	**Nota**	**Faixa de valor (m³/ano)**	**Nota**	**Faixa de valor (mm)**	**Nota**	**Classe**	**Nota**
Agricultura e pastagem	3,1	UC de PI	4	Insignificante	0	Insignificante	4	Insignificante	0,45
Área úmida	2	UC de US	3,25	Baixa	1	Baixa	3	Baixa	1,5
Área edificada	3,55	APPs de curso d'água	4	Média	2	Média	2	Média	2,45
Corpo d'água	3,85	APPs de manguezal	3,1	Alta	3	Alta	1	Alta	3,35
Solo exposto, duna e areal	1,85	APPs de declive	2,95	Extrema	4	Extrema	0	Extrema	4
Vegetação campestre	2,2	APPs de restinga	2,8						
Vegetação florestal	3,05	APPs de nascente	4						

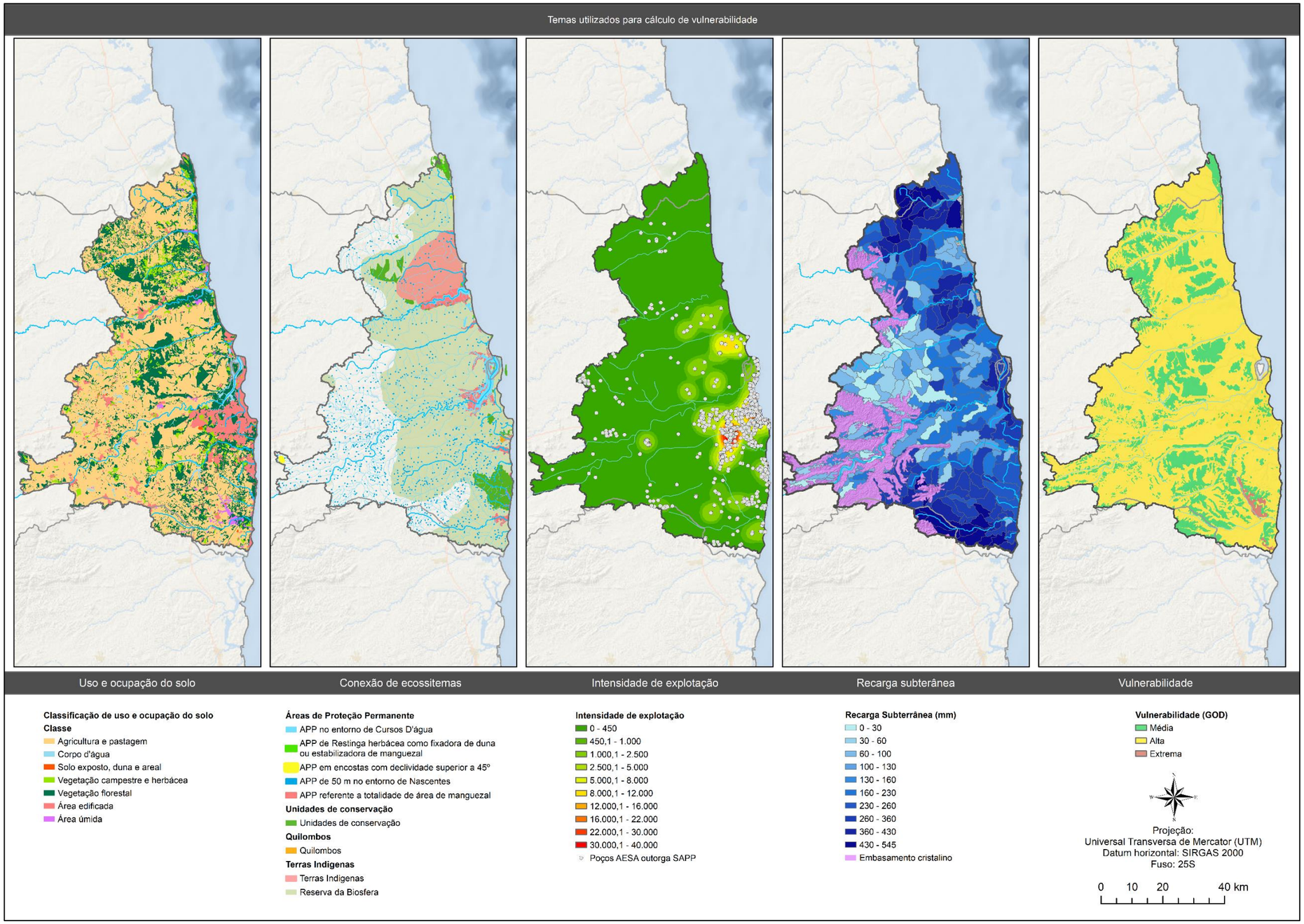


Figura 4.23 – Mapa dos temas utilizados para a ponderação e primeira aproximação para a definição das zonas e subzonas de gerenciamento.

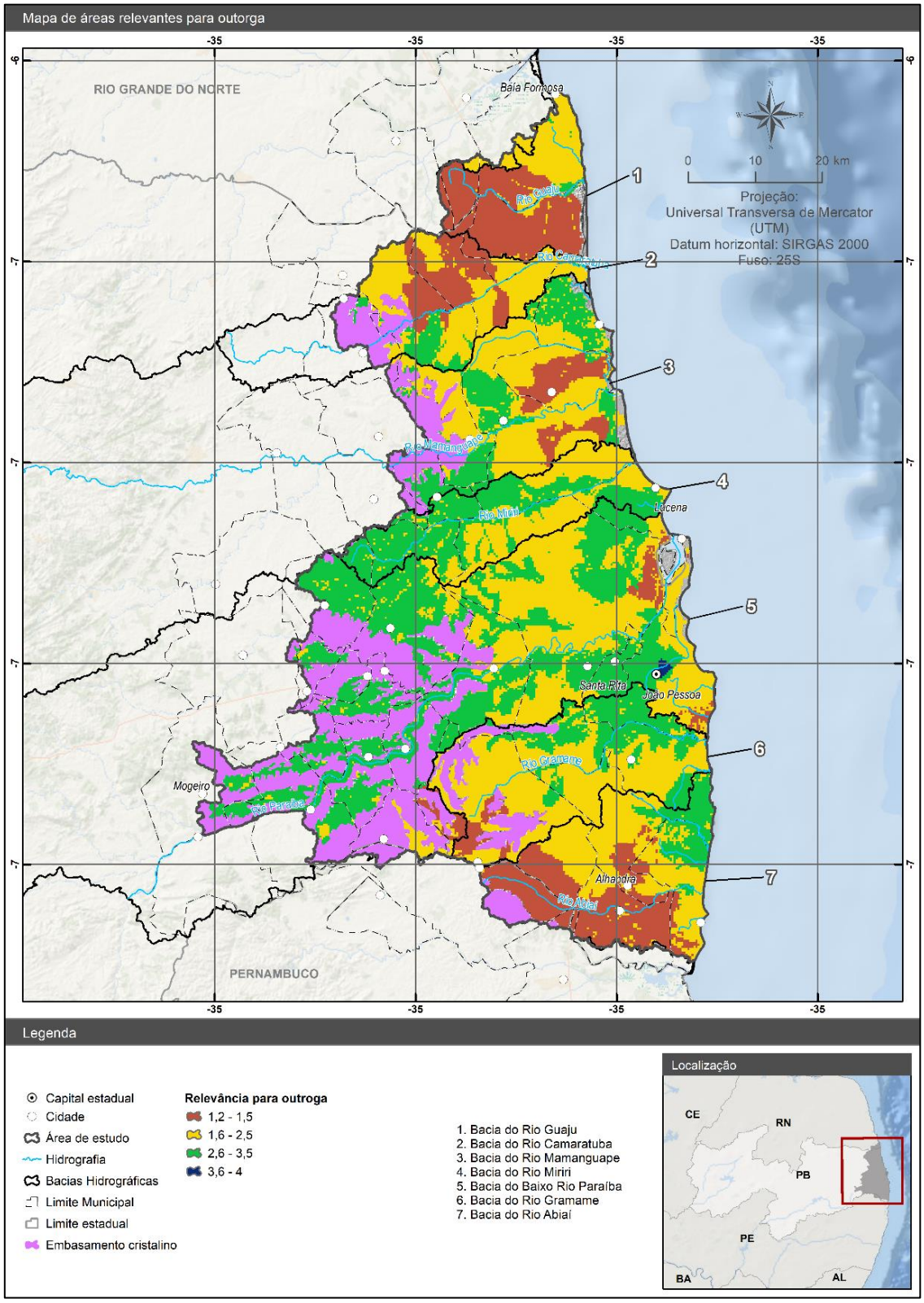


Figura 4.24 – Mapa resultante dos temas ponderados por relevância para outorga: uso do solo, conexão com ecossistemas, densidade de poços, recarga e vulnerabilidade.

Ao analisar o resultado do processamento apresentado na Figura 4.24, observa-se que para uma primeira aproximação, o resultado apresentado ficou interessante, podendo iluminar um primeiro entendimento de uma possível subdivisão da área de estudo. Conforme comentado anteriormente, esse é apenas o resultado para uma primeira aproximação e foi usado como subsídio para a definição das áreas junto com os demais critérios mencionados, ou seja: i) Características hidrogeológicas das formações que compõe a porção do sistema aquífero; ii) Fontes de poluição; iii) Qualidade das águas subterrâneas; além destes, ainda foram analisadas as áreas anteriormente definidas no projeto ASUB e os limites das bacias hidrográficas. Na Figura 4.25 estão apresentados os mapas dos critérios não “rasterizaveis” utilizados para a análise final e definição das zonas e subzonas de gerenciamento.

Sobre a qualidade das águas, de acordo com Medeiros (2012) o enquadramento é o mesmo para toda a área do aquífero livre e do confinado, tanto para a classe atual, quanto a classe de enquadramento em si, sendo assim, a qualidade da água foi tratada de forma homogênea. O mapa da Figura 4.26 apresenta o resultado de uma primeira subdivisão da área de estudo que passa a ser as subzonas de gerenciamento, as quais são posteriormente condensadas em termos de zonas de gerenciamento. Em seguida, a Figura 4.27 apresenta um destaque para os usos do solo e principais fontes de contaminação existentes em cada subzona.

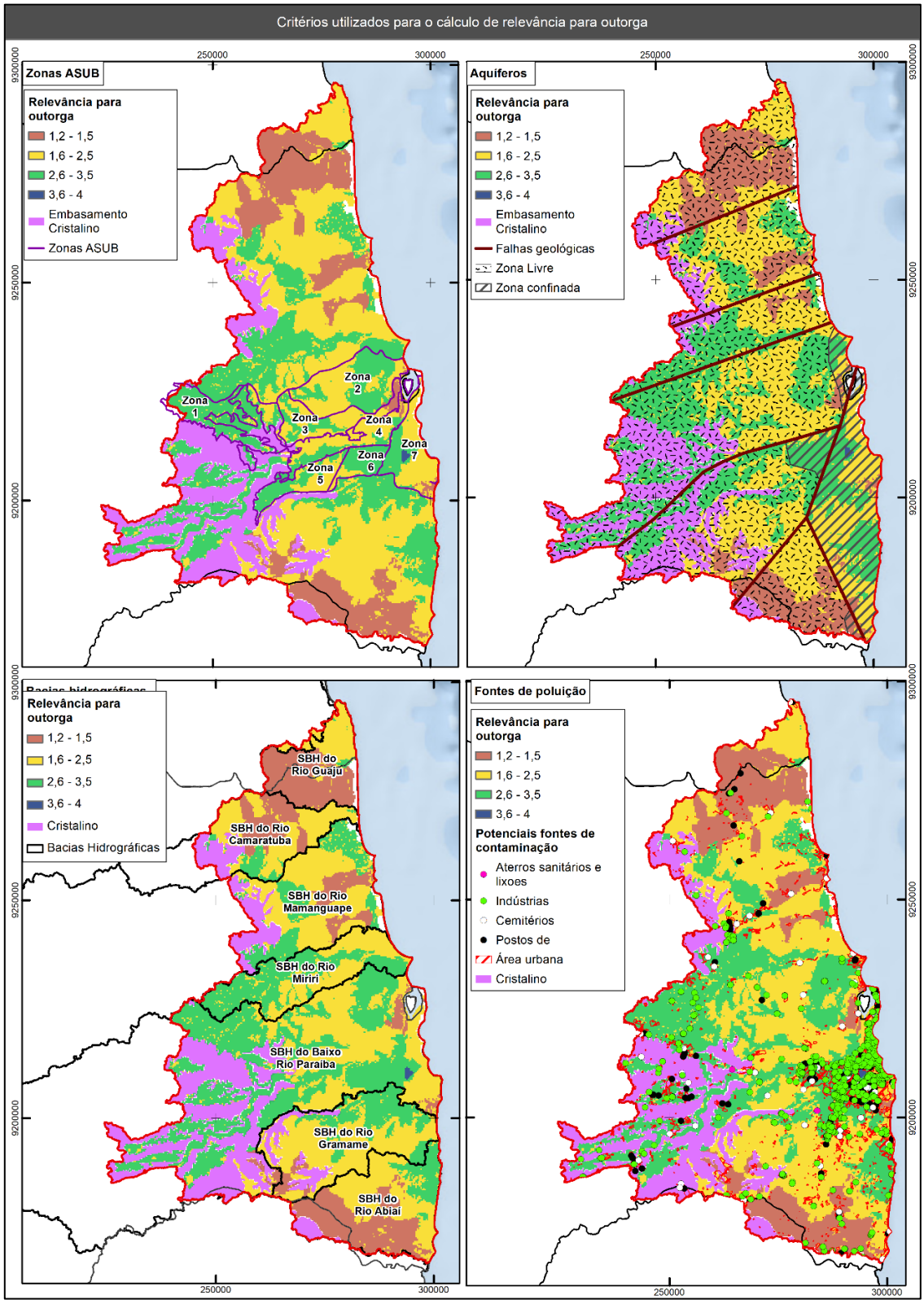


Figura 4.25 – Mapa dos critérios utilizados para a definição final das zonas e subzonas de gerenciamento no SAPP.

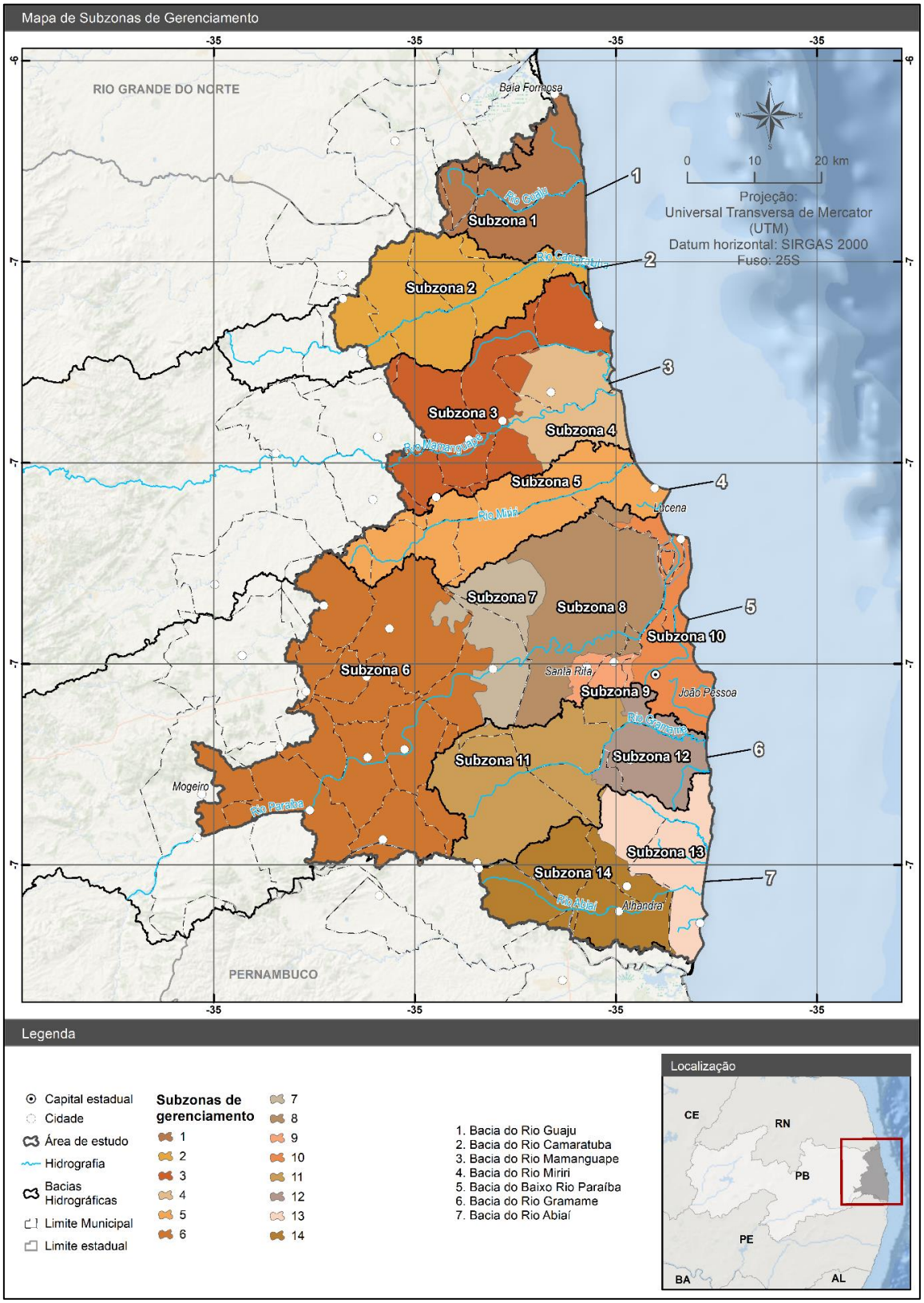


Figura 4.26 – Mapa do resultado das subzonas de gerenciamento para o SAPP.

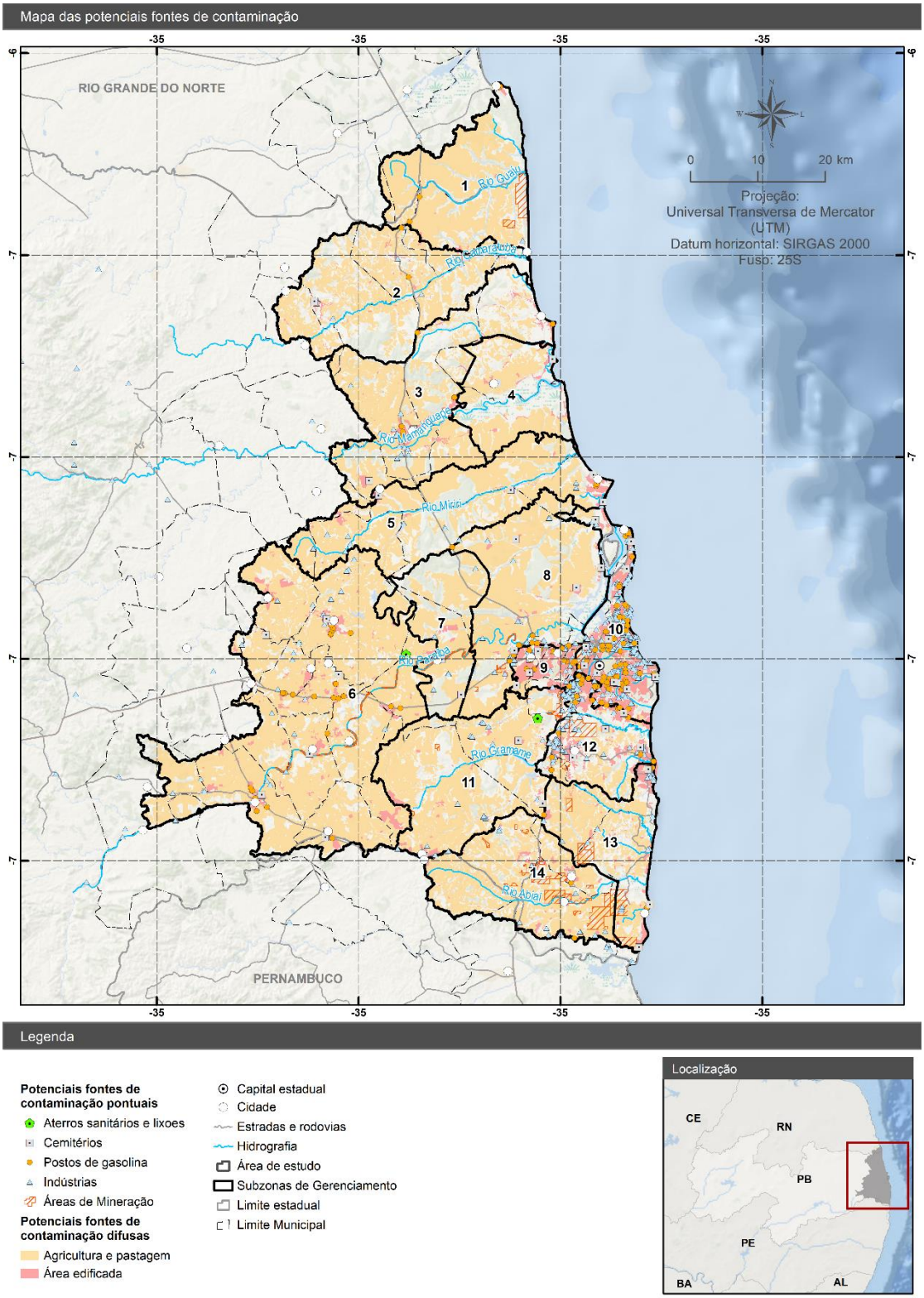
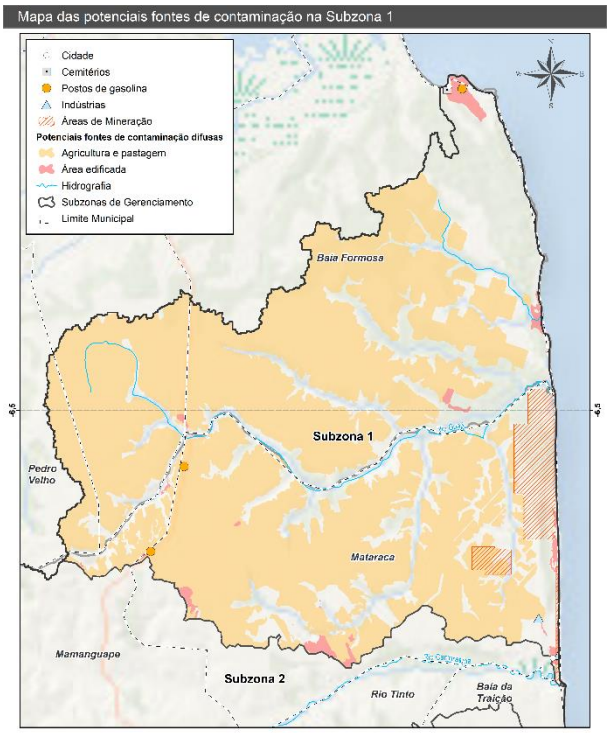


Figura 4.27 – Mapa das subzonas de gerenciamento do SAPP, dos usos do solo, municípios e potenciais fontes de contaminação.

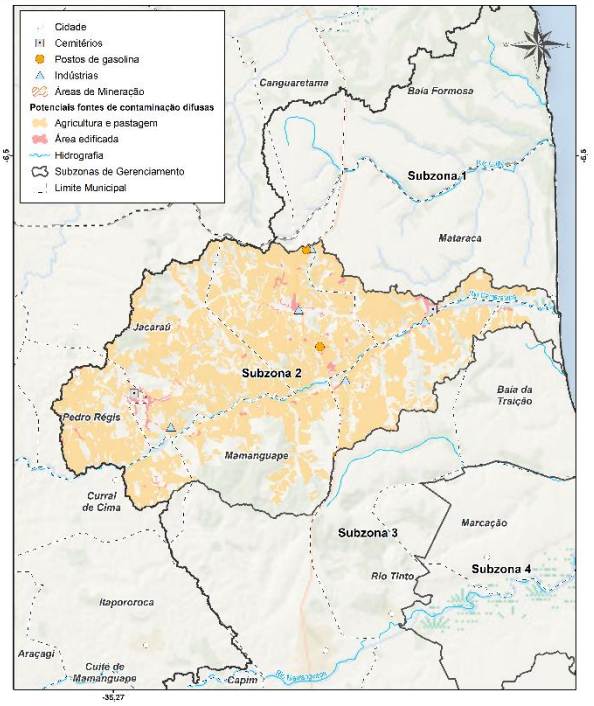
A seguir, é feita uma descrição a respeito de cada subzona e os critérios utilizados para definição de cada uma. A fim de que os limites das subzonas tivessem maior adesão com a gestão estadual, o refinamento dos limites foi realizado de forma que os traçados no sentido norte-sul tivessem coincidência com os limites das zonas censitárias e os limites no sentido leste-oeste seguiram os contornos das bacias hidrográficas.

O detalhamento dos limites de cada subzona está descrito a seguir e resumido no Quadro 4.15. A fim de dar destaque a alguns aspectos dentro de cada subzona, são apresentados mapas para cada uma, onde pode-se observar com melhor detalhamento os municípios inseridos em cada uma delas, os principais usos do solo, e algumas atividades tais como de indústrias e outras potencialmente poluidoras (Quadro 4.16, Quadro 4.17 e Quadro 4.18).



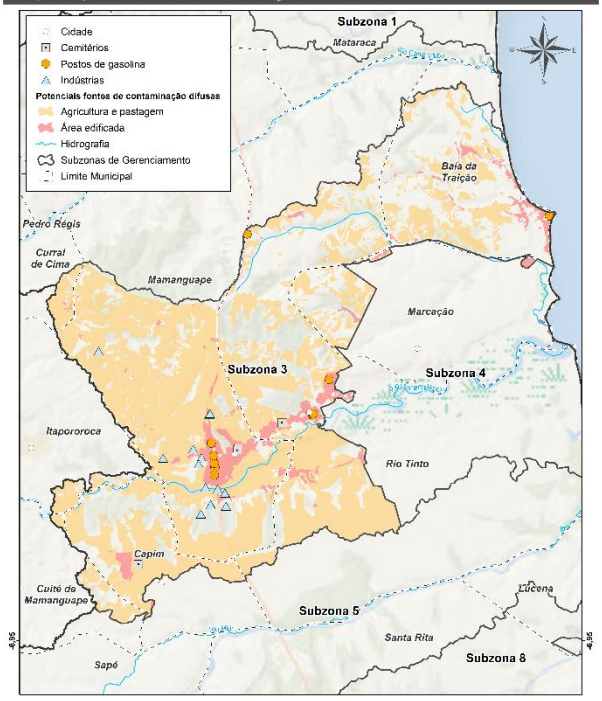
Subzona 1 – Subzona Guaju - Região coincidente com os limites da BH do rio Guaju. Está subzona, por apresentar grande parte de sua área contemplada pelas regiões de até 1,5 de relevância para outorga, foi estabelecida como uma única subzona de gerenciamento, aproveitando a divisão hidrográfica natural que a condiciona. Está inteiramente inserida no subsistema livre e não é cortada por nenhuma falha geológica. Esta zona tem predomínio de áreas de pastagem e agricultura com pequenos focos urbanos e algumas regiões dedicadas à mineração na porção litorânea. A única sede municipal contida na subzona é a do município pernambucano Baía Formosa. Possui poucos postos de gasolina e apenas uma indústria.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 2



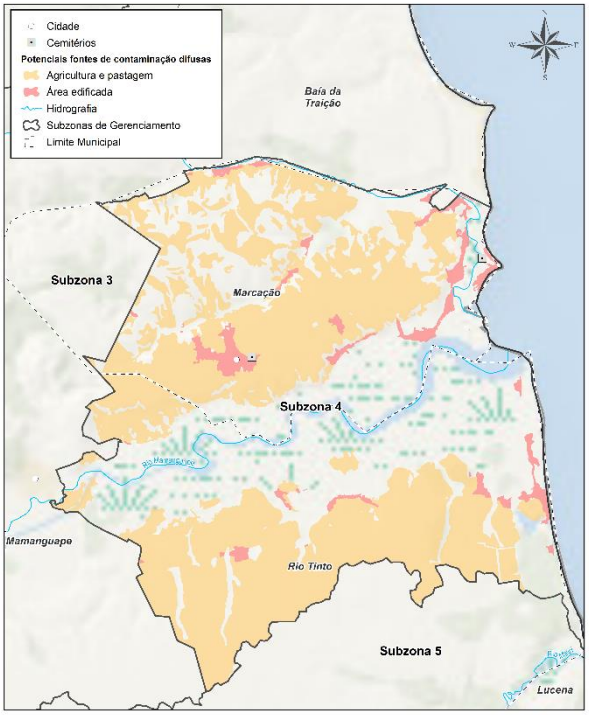
Subzona 2 - Subzona Camaratuba.– Esta região coincide com os limites da Bacia Hidrográfica do rio Camaratuba. Quanto à relevância para outorga, os valores predominantes variam de até 1,2 a 2,5. Localiza-se dentro do aquífero livre e é cortada pela Falha de Pirpirituba. Apesar da presença da falha, não se considera que esta represente uma divisão significativa da área a ponto de requerer uma subdivisão adicional. Esta região tem predomínio de áreas de pastagem e agricultura com pequenos focos urbanos. A única sede municipal contida na subzona é a de Pedro Regis. Existem algumas indústrias e postos de gasolina associados a regiões urbanizadas.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 3



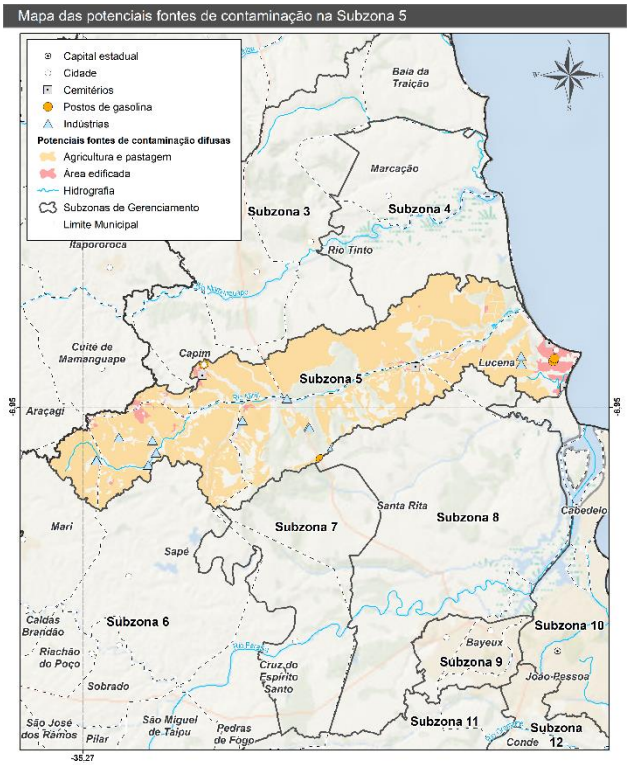
Subzona 3 - Subzona Mamanguape Oeste – Delimitada ao norte pela BH do rio Camaratuba, a oeste pelo limite da área do SAPP, ao sul pela BH do rio Miriri e a leste, em parte por uma região diferenciada de relevância para outorga e a nordeste pelo mar. Essa subzona tem predominância de regiões que variam de 1,6 a 3,5 de relevância para outorga e possui manchas urbanas expressivas, além disso, possui uma grande concentração de indústrias, postos de gasolina e cemitérios, que são potenciais fontes de contaminação para os aquíferos. Embora seja cortada por uma falha, entende-se que esta não representa uma divisão significativa da área a ponto de necessitar mais uma subdivisão. Esta região tem predomínio de áreas de pastagem e agricultura com focos urbanos expressivos, representados principalmente pela região urbanizada de Mamanguape e Rio Tinto. Na região litorânea também está contemplada a sede municipal de Baía da Traição.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 4

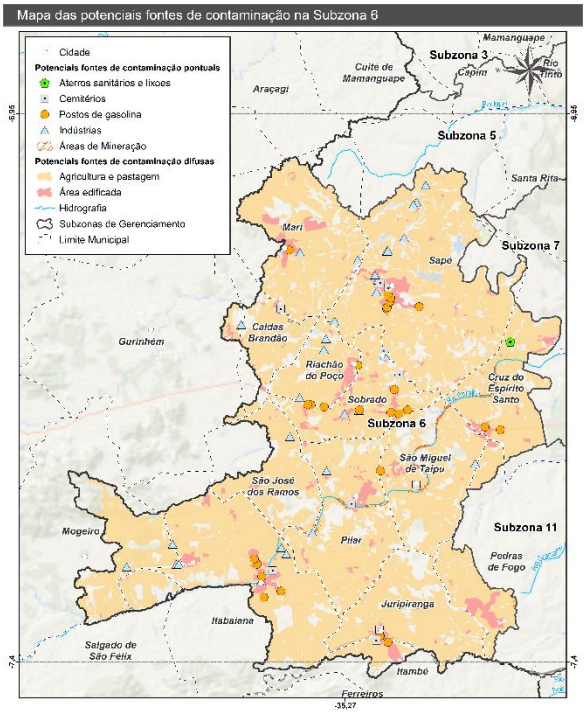


Subzona 4 - Subzona Mamanguape leste – Esta subzona é delimitada ao norte pela subzona 3 e ao sul pela Bacia Hidrográfica do rio Miriri. Aqui, a ocorrência dos valores de relevância para outorga é de 1,2 até 3,5. Está situada no sistema aquífero livre. Apesar de ser cortada por uma falha geológica, não se considera que esta represente uma divisão significativa da área a ponto de necessitar de uma subdivisão adicional. Apresenta zonas urbanas espaçadas e poucos pontos com potenciais fontes de contaminação. Esta região tem predomínio de áreas de pastagem e agricultura com focos urbanos expressivos, com destaque para a sede urbana do município de Marcação e um cemitério na sede.

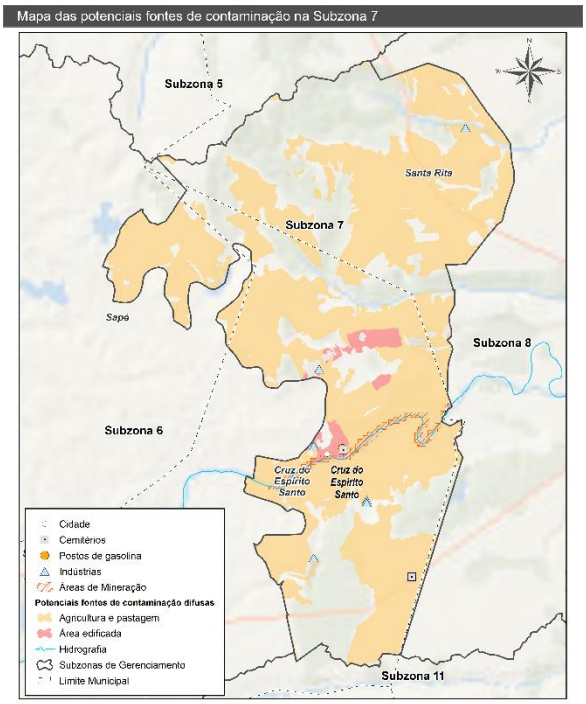
Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 5



Subzona 5 - Subzona Miriri – Esta subzona possui limites coincidentes com os da Bacia Hidrográfica do rio Miriri. Aqui, ocorre dispersão homogênea entre regiões com uma relevância para outorga variando de 1,6 a 3,5. A área é caracterizada por zonas urbanas esparsas e uma distribuição uniforme de indústrias ao longo do território. Além disso, faz divisa com as zonas delimitadas no projeto ASUB, ao sul, e está localizada dentro do aquífero livre. Esta região tem predomínio de áreas de pastagem e agricultura com focos urbanos destacados para as sedes municipais de Capim no interior e Lucena no litoral. Nas regiões urbanas existem alguns postos de gasolina e cemitérios e na região como um todo existem indústrias.

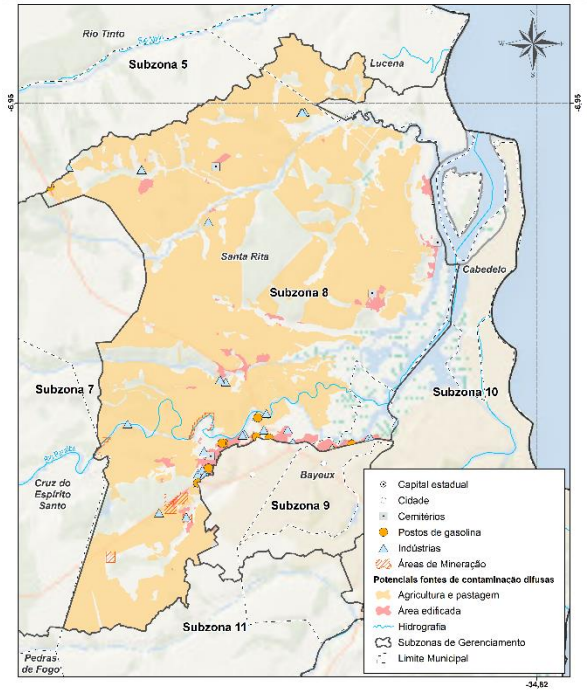


Subzona 6 - Subzona Baixo Paraíba Leste– Esta subzona abrange a área correspondente, em parte, à zona 1 estabelecida por ASUB. O restante da área de estudo está localizado dentro da bacia hidrográfica do rio Paraíba, na direção oeste. Essas regiões têm uma relevância para outorga variando de 1,2 a 3,5, além de apresentar uma distribuição semelhante de zonas urbanas e potenciais fontes pontuais de contaminação, e incluem uma extensa área do cristalino e do sistema aquífero livre. A região como um todo tem predomínio de zonas de agricultura e pastagem, entretanto há uma quantidade expressiva de áreas urbanas às quais estão associados postos de gasolina e cemitérios. Além disso, esta subzona também é bastante industrializada.



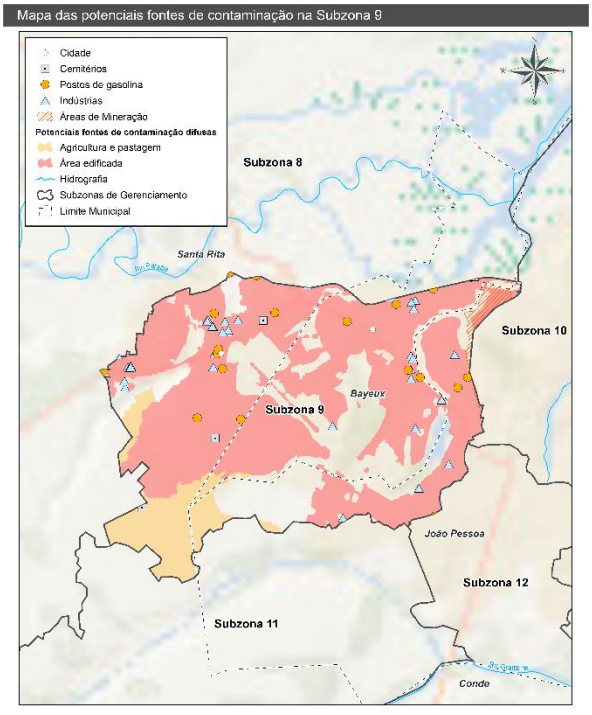
Subzona 7 - Subzona Baixo Paraíba Centro-Leste – Engloba a região oeste dos limites anteriormente definidos na ASUB, que compreendem as zonas 2, 3, 4 e 5, porém com uma divisão respeitando os resultados de relevância para outorga. Essa divisão é justificada pela maior presença de potenciais fontes de contaminação na zona oeste. Nessa subzona, as áreas com relevância para outorga variam de 1,6 a 3,5, com predomínio de regiões entre 1,6 e 2,5 e está localizada dentro do aquífero livre. O predomínio na região é de áreas de agricultura e pastagem sendo Cruz do Espírito a única sede municipal inserida nesta subzona. Existem algumas indústrias e cemitérios, mas não em grande número.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 8



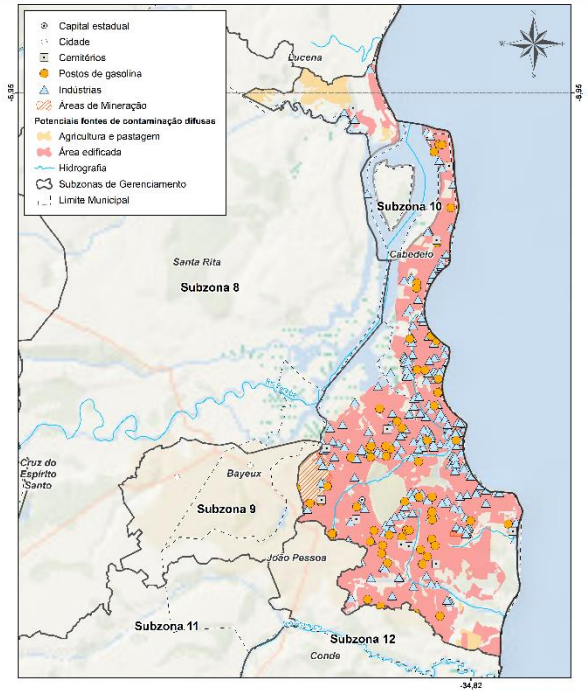
Subzona 8 - Subzona Baixo Paraíba Oeste – Compreende a região leste dos limites previamente definidos na ASUB, abrangendo as zonas 2, 3, 4 e 5, porém com uma divisão respeitando os resultados de relevância para outorga. Esta subzona apresenta uma mescla de áreas com relevância para outorga variando de 1,2 a 3,5. Está situada dentro do aquífero livre e caracteriza-se por uma urbanização pouco intensa. No entanto, diversos pontos potenciais de contaminação estão dispersos por toda a área. Esta região tem principalmente áreas de pastagem e agricultura, não contempla nenhuma sede urbana, mas na divisa com a subzona 9 há uma maior concentração de indústrias e postos de gasolina.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 9



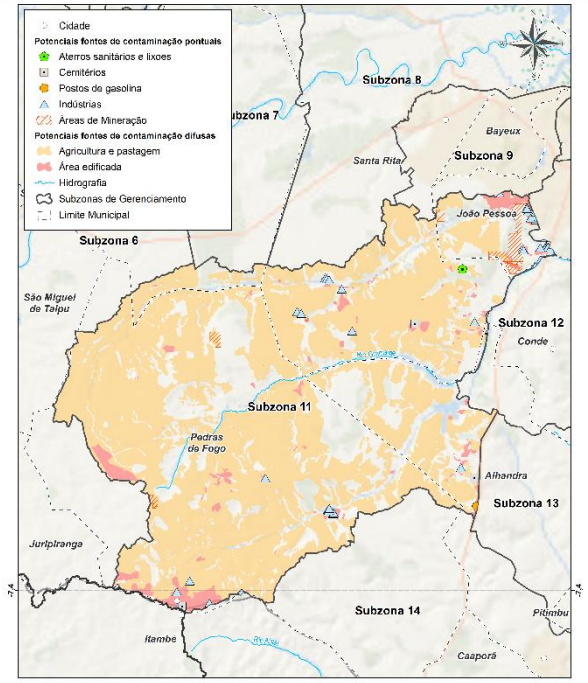
Subzona 9 - Subzona Baixo Paraíba Transição - Representa uma área significativa dentro da ASUB, englobando os limites anteriormente definidos como subzona 6. Esta subzona representa uma região de transição entre o sistema aquífero livre e confinado, mas ainda é tratada como livre. É caracterizada por densa urbanização, com uma grande concentração de atividades residenciais, comerciais e industriais. Os índices de relevância para outorga, variam de 1,6 a 3,5, com predomínio da classe que varia de 2,6 a 3,5. Esta região é predominantemente urbanizada contemplando as sedes municipais de Santa Rita e Bayeux. Concentra uma quantidade grande de indústrias e postos de gasolina.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 10



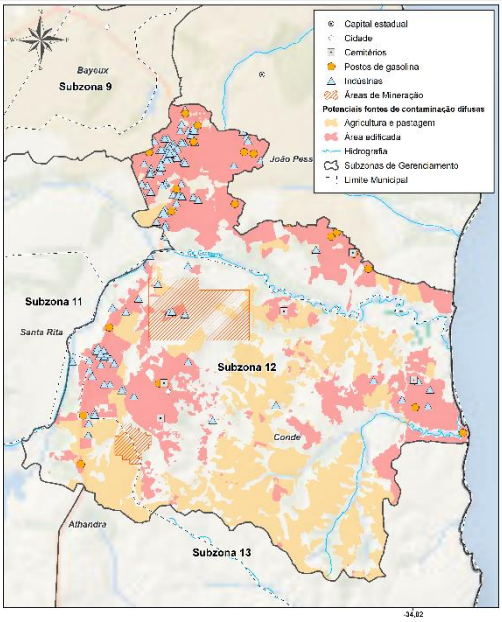
Subzona 10 - Subzona Baixo Paraíba Litorânea. – É uma área abrangida pelo confinamento do Beberibe e caracteriza-se por uma densa urbanização. Esta região coincide com os limites da região 7 de ASUB e aqui, os índices de relevância para outorga variam de 1,2 a 4. Devido à sua alta densidade populacional e atividades industriais, comerciais e residenciais, a Subzona 10 apresenta numerosas fontes potenciais de contaminação para os recursos hídricos subterrâneos. Essas fontes incluem descargas industriais, esgotos domésticos, vazamentos de produtos químicos de estabelecimentos comerciais como postos de gasolina, além de cemitérios. Além disso, a subzona 10 está dentro dos limites estabelecidos para o sistema aquífero confinado. Esta região é predominantemente urbana e concentra a maior parte da capital João pessoa. Consequentemente também é bastante industrializada, tem intensa atividade comercial e hoteleira.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 11



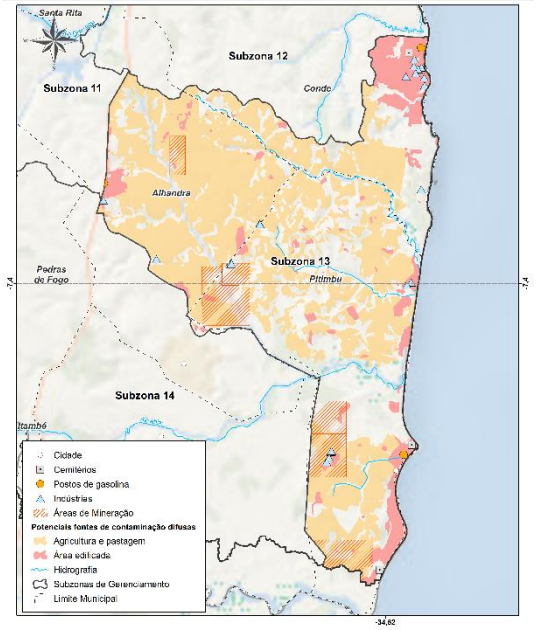
Subzona 11 - Subzona Gramame oeste – Está localizada a oeste da bacia hidrográfica do rio Gramame, partindo da falha de Cabedelo. Nesta região, os índices de relevância para outorga variam de 1,2 a 3,5, com predomínio de 1,2 a 3,5. As áreas urbanizadas e as fontes potenciais de contaminação têm menos relevância do que na parte leste da falha. Além disso, esta subzona representa a região do sistema livre. Possui uma série de indústrias, porém dispersas em seu território. A maior área edificada está associada à sede municipal de Pedra de Fogo, ao sul da subzona. Possui um aterro sanitário e algumas regiões de exploração minerária.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 12

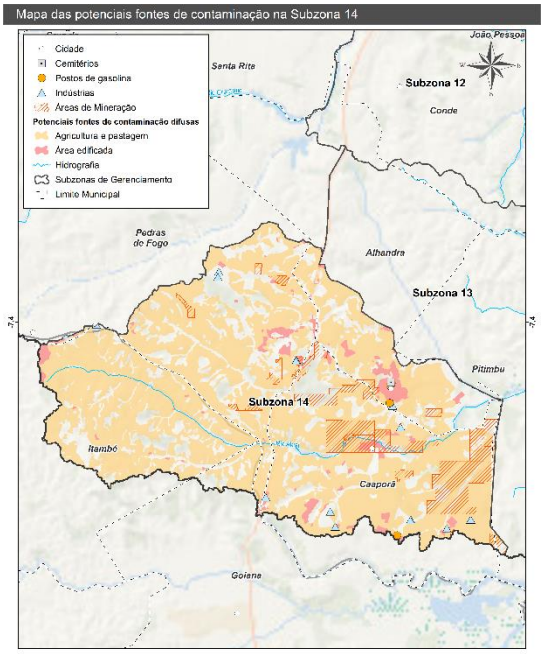


Subzona 12 - Subzona Gramame leste – Está situada na bacia hidrográfica do rio Gramame, no lado leste, caracterizando-se por um maior adensamento urbano. Apresenta grandes áreas variando de 1,6 a 3,5 em termos de relevância para outorga, e está inserida na área do sistema aquífero confinado. É uma área mais densamente ocupada em termos de indústrias e postos de gasolina. Esta região além de muito edificada tem uma concentração muito importante de indústrias e alguns postos de gasolina. Há também uma região de mineração e a sede municipal de Conde está situada dentro de seus limites.

Mapa das potenciais fontes de contaminação na Subzona 13



Subzona 13 - Subzona Abiaí leste – Abrange a região ao norte da falha de Mata Redonda, fazendo fronteira com o mar a leste e com a Subzona 12 ao norte, e engloba a área do subsistema confinado. Esta subzona é caracterizada principalmente por áreas com índices de relevância para outorga que variam de 1,2 a 3,5, com uma presença reduzida de áreas urbanizadas, indústrias, cemitérios e postos de combustíveis. Tem predominância de áreas de agricultura e pastagem, mas diversos focos urbanos também. Há atividade minerária e contempla a sede municipal de Pitimbu.



Subzona 14 - Subzona Abiaí oeste – Compreende a região a oeste da falha de Mata Redonda, com seus limites definidos a oeste e sul pela bacia hidrográfica do rio Abiaí. Apresenta áreas de relevância para outorga, com um máximo de 2,5, e conta com algumas áreas urbanas dispersas. Além disso, possui poucos pontos de interesse industrial, postos de gasolina e cemitérios, que podem representar potenciais fontes de contaminação para os aquíferos locais. Esta subzona está totalmente dentro do subsistema livre. A sede municipal de Alhandra está inserida nesta subzona, assim como Itambé. Há algumas indústrias, mas um pouco dispersas.

Quadro 4.15 – Resumo das principais características das subzonas de gerenciamento na área do SAPP.

Zonas	Área	Sistema Aquífero	Potenciais fontes pontuais de contaminação	Uso do Solo (N1)	Conexão com Ecoss. (N2) Ambientes de Ucs e APPs	Densidade de poços (N3) Intensidade de explotação, Kernel Density	Recarga (N4)	Vulnerabilidade (N5)
Subzona 1	350,4	Livre	Poucas	Predomínio de agricultura e pastagem	APP de manguezal, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Baixa < 5.000 m³/ano	Baixa (<70.900 mm) a Muito Alta (>187.000 mm)	Média e Alta
Subzona 2	455,4	Livre	Poucas	Predomínio de agricultura e pastagem	Área de Proteção Ambiental, APP de manguezal, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Baixa < 5.000 m³/ano	Muito Baixa (<27.900 mm) a Muito Alta (>187.000 mm)	Média, Alta e Extrema
Subzona 3	498,3	Livre	Muitas	Predomínio de vegetação florestas e área urbana	Área de Proteção Ambiental, APP de manguezal, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Muito alta (> 23.500 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Intermediária (<117.000 mm)	Média e Alta
Subzona 4	220,4	Livre	Poucas	Predomínio de agricultura e pastagem	APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Muito alta (> 23.500 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Muito Alta (>187.000 mm)	Média e Alta
Subzona 5	439,8	Livre	Poucas	Predomínio de agricultura e pastagem	APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Baixa < 5.000 m³/ano	Muito Baixa (<27.900 mm) a Baixa (<70.900 mm)	Média e Alta
Subzona 6	1118,0	Livre	Poucas	Predomínio de área urbana	Floresta Nacional, Parque Estadual, Parque Natural Municipal, Refúgio de Vida Silvestre, APP de manguezal, APP restinga herbácea, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Alta (> 11.900 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Alta (>117.000 mm)	Média e Alta
Subzona 7	220,7	Livre	Muitas	Predomínio de área urbana	APP de manguezal, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Muito alta (> 23.500 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Baixa (<70.900 mm)	Média e Alta
Subzona 8	427,1	Livre	Poucas	Predomínio de agricultura e pastagem	APP de manguezal, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Intermediária (< 11.900 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Alta (>117.000 mm)	Média e Alta
Subzona 9	60,2	Livre/ transição para o confinado	Muitas	Predomínio de vegetação florestas e agricultura e pastagem	APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) e Baixa (< 5.000 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Intermediária (<117.000 mm)	Média e Alta
Subzona 10	197,8	Confinado	Poucas	Predomínio de agricultura e pastagem	Área de Proteção Ambiental, APP de manguezal, APP restinga herbácea, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) a Intermediária (< 11.900 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Intermediária (<117.000 mm)	Média e Alta
Subzona 11	445,5	Livre	Poucas	Predomínio de vegetação florestas e agricultura e pastagem	Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, APP de manguezal, APP restinga herbácea, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) e Baixa (< 5.000 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Alta (>117.000 mm)	Média e Alta
Subzona 12	183,1	Confinado	Poucas	Predomínio de vegetação florestas e agricultura e pastagem	Área de Proteção Ambiental, Reserva Biológica, APP de manguezal, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano) e Baixa (< 5.000 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Intermediária (<117.000 mm)	Média e Alta
Subzona 13	243,2	Confinado	Poucas	Predomínio de vegetação florestas e agricultura e pastagem	Reserva Biológica, Área de Relevante Interesse Ecológico, Estação Ecológica, APP de manguezal, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Muito Alta (>187.000 mm)	Média e Alta
Subzona 14	348,6	Livre	Poucas	Predomínio de agricultura e pastagem	RPPN, Área de Relevante Interesse Ecológico, APP de manguezal, AAP de declividade, APP restinga herbácea, APP nascente e APP curso d'água	Muito Baixa (< 1.200 m³/ano)	Muito Baixa (<27.900 mm) a Muito Alta (>187.000 mm)	Média e Alta

Quadro 4.16 – Resumo das fontes pontuais de poluição das subzonas de gerenciamento na área do SAPP.

Subzona	Número de fontes poluidoras pontuais				
	Aterro sanitário/ lixão	Cemitério	Indústria	Posto de gasolina	Total Geral
1		1	2	3	6
2		2	7	2	11
3		4	26	10	40
4		2			2
5		4	20	4	28
6	1	11	38	26	76
7		2	14	1	17
8		4	42	6	52
9		3	46	15	64
10		12	269	60	341
11	1	4	74	1	80
12		5	183	20	208
13		3	23	2	28
14		1	20	4	25
Total Geral	2	58	764	154	978

Quadro 4.17 – Resumo das fontes difusas de poluição das subzonas de gerenciamento na área do SAPP.

Subzona	Área Subzona	Agricultura e pastagem		Área urbana	
		Área (km²)	% da Subzona	Área (km²)	% da Subzona
1	350,39	234,56	66,94	5,15	1,47
2	455,39	250,96	55,11	7,96	1,75
3	498,34	268,04	53,79	24,55	4,93
4	220,41	102,98	46,72	7,65	3,47
5	439,85	280,53	63,78	14,46	3,29
6	1117,97	879,92	78,71	56,84	5,08
7	220,73	134,83	61,08	3,66	1,66
8	427,09	271,64	63,60	11,15	2,61
9	60,15	5,81	9,65	37,69	62,66
10	197,77	5,98	3,02	109,74	55,49
11	445,54	296,27	66,50	16,46	3,69
12	183,07	47,49	25,94	51,71	28,25

Subzona	Área Subzona	Agricultura e pastagem		Área urbana	
		Área (km²)	% da Subzona	Área (km²)	% da Subzona
13	243,23	130,12	53,50	22,88	9,41
14	348,57	242,68	69,62	13,03	3,74
Total Geral	5208,53	3151,82	60,51	382,92	7,35

Quadro 4.18 – Resumo das áreas de mineração das subzonas de gerenciamento na área do SAPP.

Subzona	Área Subzona (km²)	Mineração	
		Área (km²)	% da Subzona
1	350,39	12,49	3,57
2	455,39	0,0006	0,0001
3	498,34	0,00	0,00
4	220,41	0,00	0,00
5	439,85	0,00	0,00
6	1117,97	4,55	0,41
7	220,73	2,49	1,13
8	427,09	2,15	0,50
9	60,15	0,81	1,35
10	197,77	4,18	2,11
11	445,54	4,71	1,06
12	183,07	10,61	5,79
13	243,23	20,02	8,23
14	348,57	31,34	8,99
Total Geral	5208,53	93,36	1,79

A seguir, na Figura 4.28 é apresentado o mapa das subzonas de gerenciamento sobreposto com um dos critérios que as constituiu, o critério da relevância para outorga. Fica evidente como a integração dessas informações contribuiu para um entendimento mais abrangente que baseou a concepção das subzonas.

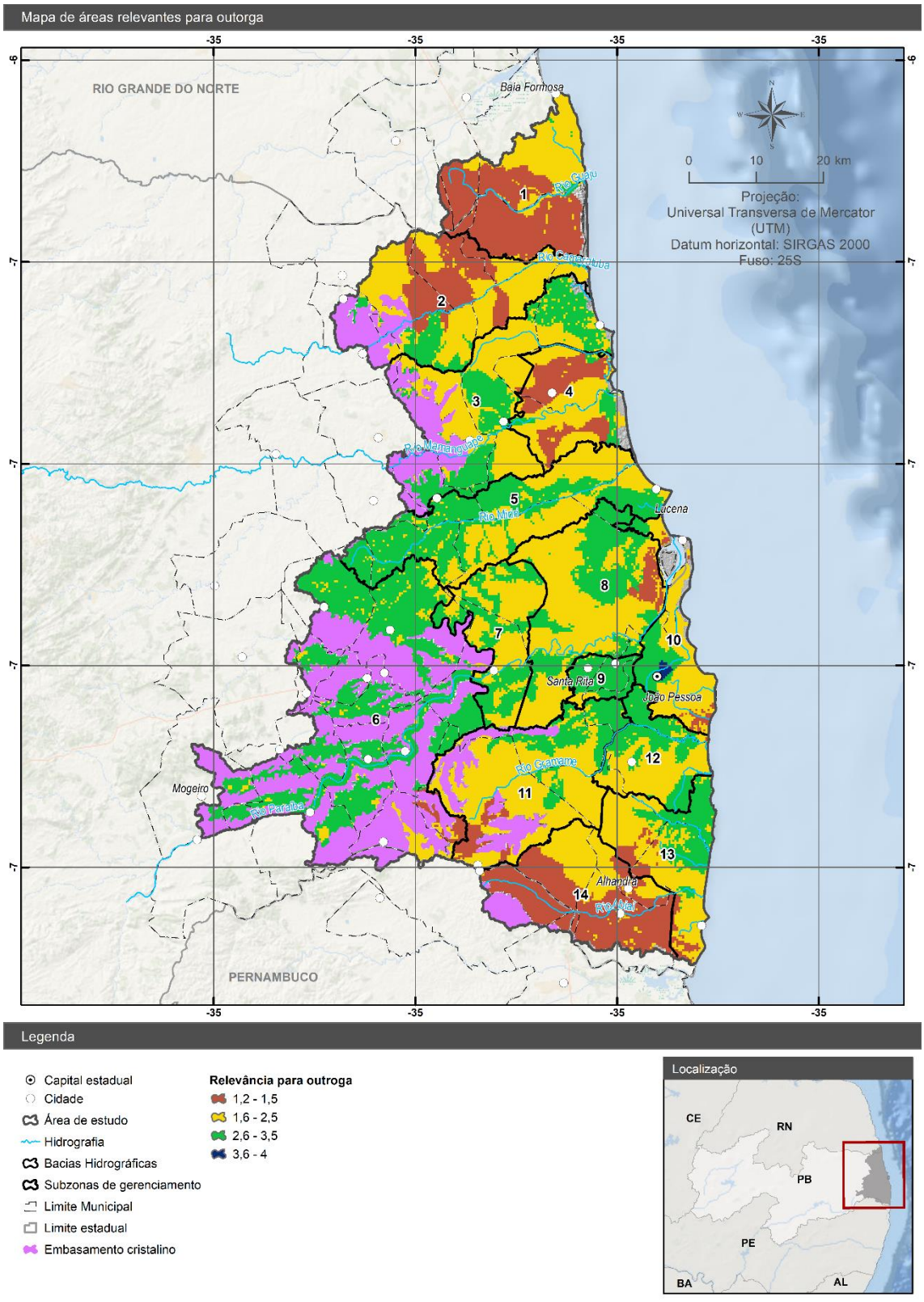


Figura 4.28 – Mapa das subzonas de gerenciamento para o SAPP sobreposto ao resultado da relevância para outorga.

4.3.2 *Estimativa de potencial e disponibilidade de águas subterrâneas para as subzonas de gerenciamento*

Com o propósito de fornecer subsídios para a gestão quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos, esta seção apresenta a potencialidade e disponibilidade hídrica do SAPP. A potencialidade trata-se do volume de água subterrânea armazenada no aquífero e suscetível a ser utilizada.

Conforme conceituado por (COSTA, 2009) a potencialidade, também denominada de reserva reguladora, pode ser estimada pela entrada natural do sistema (recarga), ou seja, os mesmos valores obtidos no item 4.1 deste estudo. Este volume de água subterrânea foi estimado descontando o fluxo de base dos rios e a vazão ecológica, pois os métodos de estimativa por meio do balanço hídrico e do WTF já contemplam estas questões. A disponibilidade, por sua vez, representa uma parcela das reservas hídricas subterrâneas totais que pode ser extraída anualmente do armazenamento dos aquíferos durante um determinado período planejado, de modo a não causar interferências ambientais, econômicas e sociais graves.

Essa definição está atrelada ao conceito de sustentabilidade, cujo objetivo é realizar o aproveitamento racional e conservação dos recursos hídricos. A definição da parcela das reservas hídricas dos aquíferos que poderá ser utilizada anualmente deve ser fundamentada em diretrizes técnicas e políticas que, por hora, não estão definidas para as bacias hidrográficas da Paraíba.

4.3.2.1 Potencialidade nas subzonas de gerenciamento

As subzonas de gerenciamento receberam o valor da soma ponderada pelas áreas das minibacias que contemplavam parcial ou inteiramente cada subzona. Para o sistema confinado, foi realizada a soma dos valores correspondentes a cada uma das subzonas sob influência do fluxo subterrâneo. Ainda, os fluxos de recarga das subzonas 10, 12 e 13 são fluxos laterais oriundos de uma recarga direta no subsistema livre, esse valor de potencialidade para as subzonas com presença do confinado foi subtraído das subzonas vizinhas de onde se origina o fluxo. O Quadro 4.19 apresenta os resultados da potencialidade, tanto para o sistema livre quanto para o confinado. A Figura 4.29 espacializa as informações apresentadas no Quadro 4.19.

Observa-se, portanto, que as áreas abrangidas pelas subzonas 10 e 12, as quais incorporam parcialmente o sistema confinado e parcialmente o sistema livre, apresentam um valor de potencialidade total relativamente elevado. Adicionalmente, a subzona 9, localizada em uma região ainda pertencente ao sistema aquífero livre, mas em transição para o confinado, apresenta valores de recarga pouco expressivos. Esse cenário é em grande parte atribuído à impermeabilização do solo, uma vez que a subzona está inserida em uma área urbanizada.

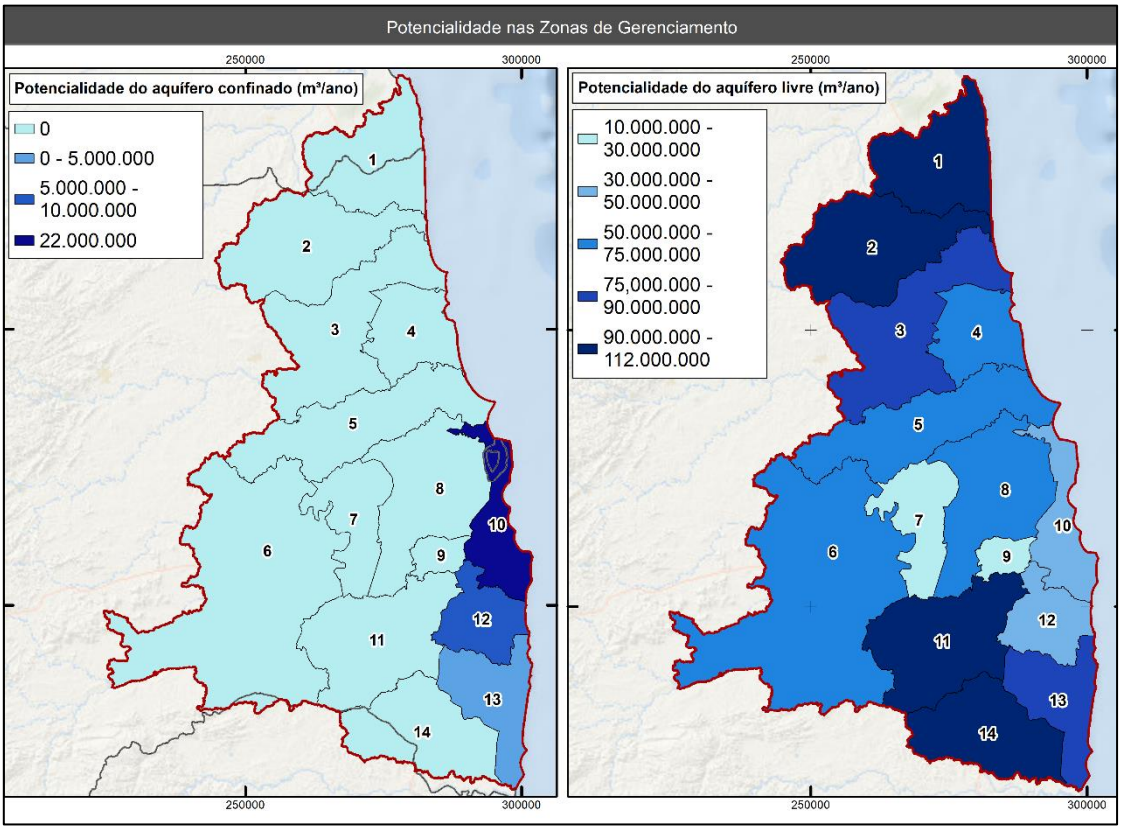


Figura 4.29 – Potencialidade no sistema aquífero livre, sistema aquífero confinado.

Quadro 4.19 – Potencialidade nas subzonas de gerenciamento do SAPP.

Subzona	Potencialidade no sistema confinado (m³/ano)	Potencialidade no sistema livre (m³/ano)	Recarga total (m³/ano)
1	-	110.452.317	110.452.317
2	-	111.614.077	111.614.077
3	-	75.728.007	75.728.007
4	-	61.793.426	61.793.426
5	-	51.707.785	51.707.785
6	-	52.860.360	52.860.360
7	-	28.062.284	28.062.284

Subzona	Potencialidade no sistema confinado (m³/ano)	Potencialidade no sistema livre (m³/ano)	Recarga total (m³/ano)
8	-	53.808.522	53.808.522
9	-	3.534.056	3.534.056
10	21.204.368	49.671.935	70.876.303
11	-	86.527.103	86.527.103
12	8.068.719	49.234.546	57.303.265
13	3.564.581	81.916.775	85.481.356
14	-	106.748.117	106.748.117

4.3.2.2 Disponibilidade nas subzonas de gerenciamento

Existem vários termos e conceitos associados à quantidade de água subterrânea disponível (DWR, 2003). Algumas dessas incluem a capacidade de armazenamento subterrâneo, a capacidade de armazenamento utilizável, o balanço hídrico, variações de armazenamento, superexplotação e vazão segura (DWR, 2003). A disponibilidade contempla várias alternativas em função dos distintos níveis de segurança do aquífero e do sistema hídrico superficial (CPRM, 2008).

Estudos hidrogeológicos realizados no Brasil pela (ANA, 2004, 2005a) consideraram a disponibilidade hídrica subterrânea como correspondente a 20% das reservas renováveis, ou seja, da recarga anual. Estudos realizados na década 90 na região metropolitana de São Paulo (SABESP-CEPAS, 1994) adotaram, em nível de planejamento, um percentual variando entre 25% e 50% das reservas renováveis. Na Bahia, o Plano de Bacias Hidrográficas do Recôncavo Norte, região que guarda similaridades climáticas e geomorfológicas com a área do SAPP, considera que a disponibilidade é 70% da potencialidade.

Nos trabalhos de Costa (*et al.*, 2007; 2009), a potencialidade é estimada através da descarga natural do sistema aquífero (vazão de base) do escoamento fluvial e a disponibilidade como 60% da potencialidade. Por serem ambos trabalhos realizados na área de estudo e por terem fundamentado a escolha em relação a questões locais e pelo valor refletir um valor intermediário em relação a outras diretrizes no país, optou-se por utilizar essa fração da potencialidade para definição da disponibilidade.

Para estimativa das disponibilidades nas subzonas de gerenciamento, cada uma recebeu o valor da soma ponderada pelas áreas das minibacias que contemplavam

parcial ou inteiramente cada subzona. Para o sistema confinado, foi realizada a soma dos valores correspondentes a cada uma das subzonas sob influência do fluxo subterrâneo. O balanço hídrico foi realizado a partir da diferença entre as informações de disponibilidade em relação às vazões de captação calculadas a partir de dados de outorga e espacializadas para toda a área de estudo pelo método Kernel Density conforme apresentado no capítulo 3.6.

A fim de fornecer uma visão relativa do balanço hídrico nas subzonas de gerenciamento, com vistas estabelecer os locais em que há prioridade de gestão, foi determinado o Índice de Comprometimento Hídrico para cada uma delas. Essa é uma variável de fácil interpretação que é largamente utilizada em planos diretores de recursos hídricos (AGERH, 2017; INEA, 2020; INEMA, 2018). Sua determinação é feita a partir da relação entre a soma das demandas de cada subzona de gerenciamento (consumo) e a sua disponibilidade hídrica. O Quadro 4.20 apresenta a classificação do Índice de Comprometimento Hídrico utilizado para determinar as classes de criticidade em cada uma das subzonas. A Equação 24 apresenta formulação utilizada para a obtenção do incide.

$$ICH = \frac{Demanda}{Disponibilidade}$$ Equação 24

Em que, “Demanda” é a demanda calculada no estudo de diagnóstico (capítulo 2), ou seja, a demanda de águas subterrâneas na área de estudo e a “Disponibilidade” é o valor calculado como 60% da Potencialidade, conforme descrito acima.

Quadro 4.20 – Escalas do Índice de Comprometimento Hídrico.

Classe	Índice de comprometimento
	< 20% - Muito baixo
	20% a 50% - Baixo
	50% a 70% - Médio
	70% a 90% - Alto
	> 90% - Muito Alto

Analisando os resultados apresentados no Quadro 4.21, na Figura 4.30 e na Figura 4.31, observa-se que a condição mais preocupante ocorre na subzona 9, onde o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) ultrapassa os 400%, sendo, portanto, classificado como Muito Alto. Também deve receber atenção as subzonas 12 e 10 classificadas em ICH Alto. As subzonas 5, 8 e 11 encontram-se no patamar Baixo, demandando, assim,

certa atenção. As demais subzonas, situadas em regiões com maior disponibilidade e, consequentemente, menor demanda, mantêm-se em uma situação confortável, no patamar Muito Baixo.

Quadro 4.21 – Relação entre disponibilidade e demanda nas subzonas de gerenciamento do SAPP.

Subzona	Disponibilidade no sistema livre (m³/ano)	Disponibilidade no sistema confinado (m³/ano)	Demanda (m³/ano)	Disponibilidade total (m³/ano)	Balanço Hídrico (m³/ano)	Índice de Comprometimento Hídrico
1	66.271.390	0	89.768,00	66.271.390	66.181.622	0%
2	66.968.446	0	405.013,00	66.968.446	66.563.433	1%
3	45.436.804	0	653.190,00	45.436.804	44.783.614	1%
4	37.076.055	0	1.830.020,00	37.076.055	35.246.035	5%
5	31.024.671	0	8.190.140,00	31.024.671	22.834.531	26%
6	31.716.216	0	1.927.430,00	31.716.216	29.788.786	6%
7	16.837.370	0	720.013,00	16.837.370	16.117.357	4%
8	32.285.113	0	11.952.800,00	32.285.113	20.332.313	37%
9	2.120.433	0	8.585.970,00	2.120.433	-6.465.537	405%
10	29.803.161	12.722.621	30.095.300,00	42.525.782	12.430.482	71%
11	51.916.262	0	10.945.000,00	51.916.262	40.971.262	21%
12	29.540.728	4.841.232	23.970.900,00	34.381.959	10.411.059	70%
13	49.150.065	2.138.749	4.242.340,00	51.288.814	47.046.474	8%
14	64.048.870	0	2.811.150,00	64.048.870	61.237.720	4%

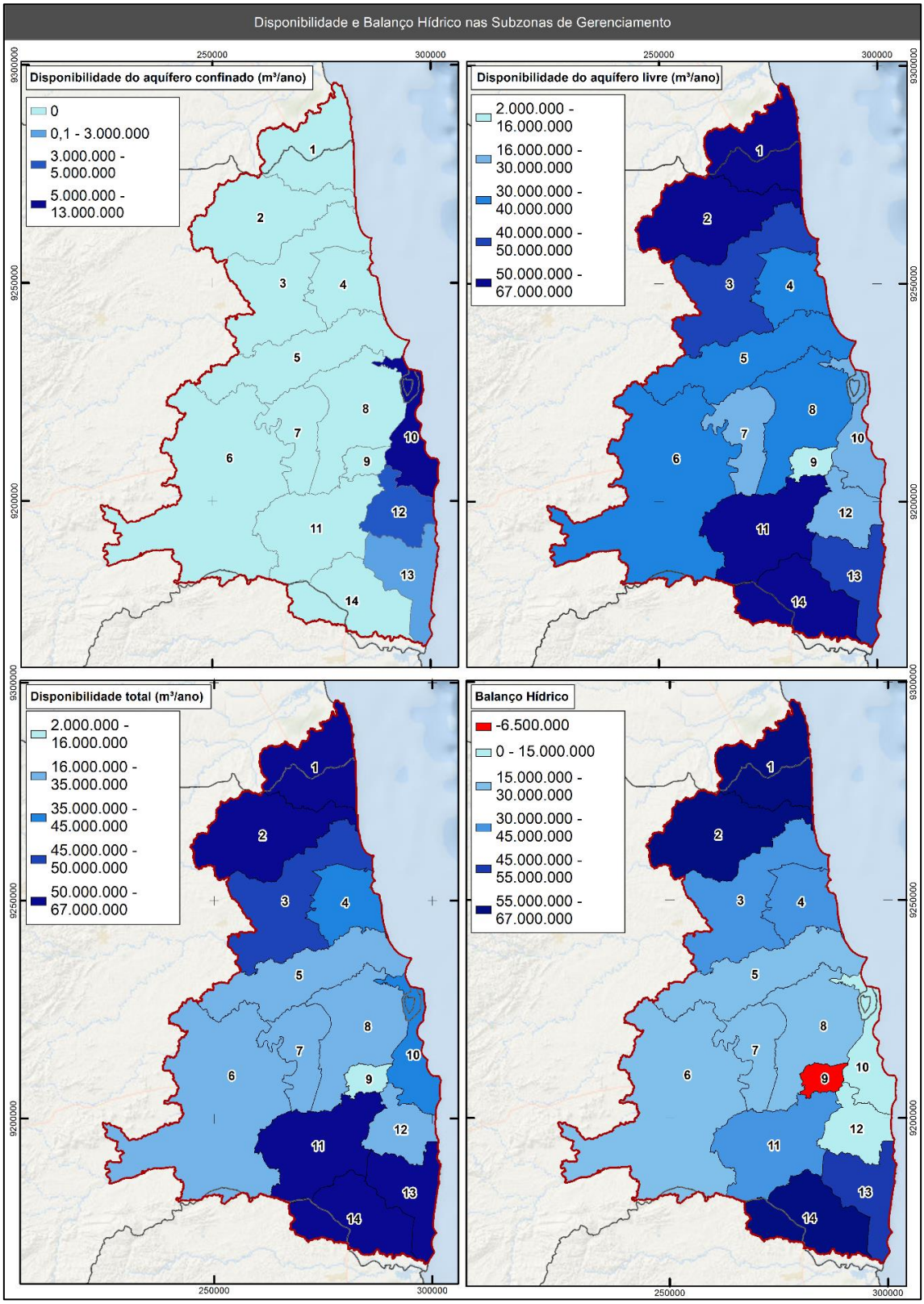


Figura 4.30 – Resultados da disponibilidade no sistema aquífero livre, sistema aquífero confinado, disponibilidade total e balanço hídrico em cada subzona de gerenciamento.

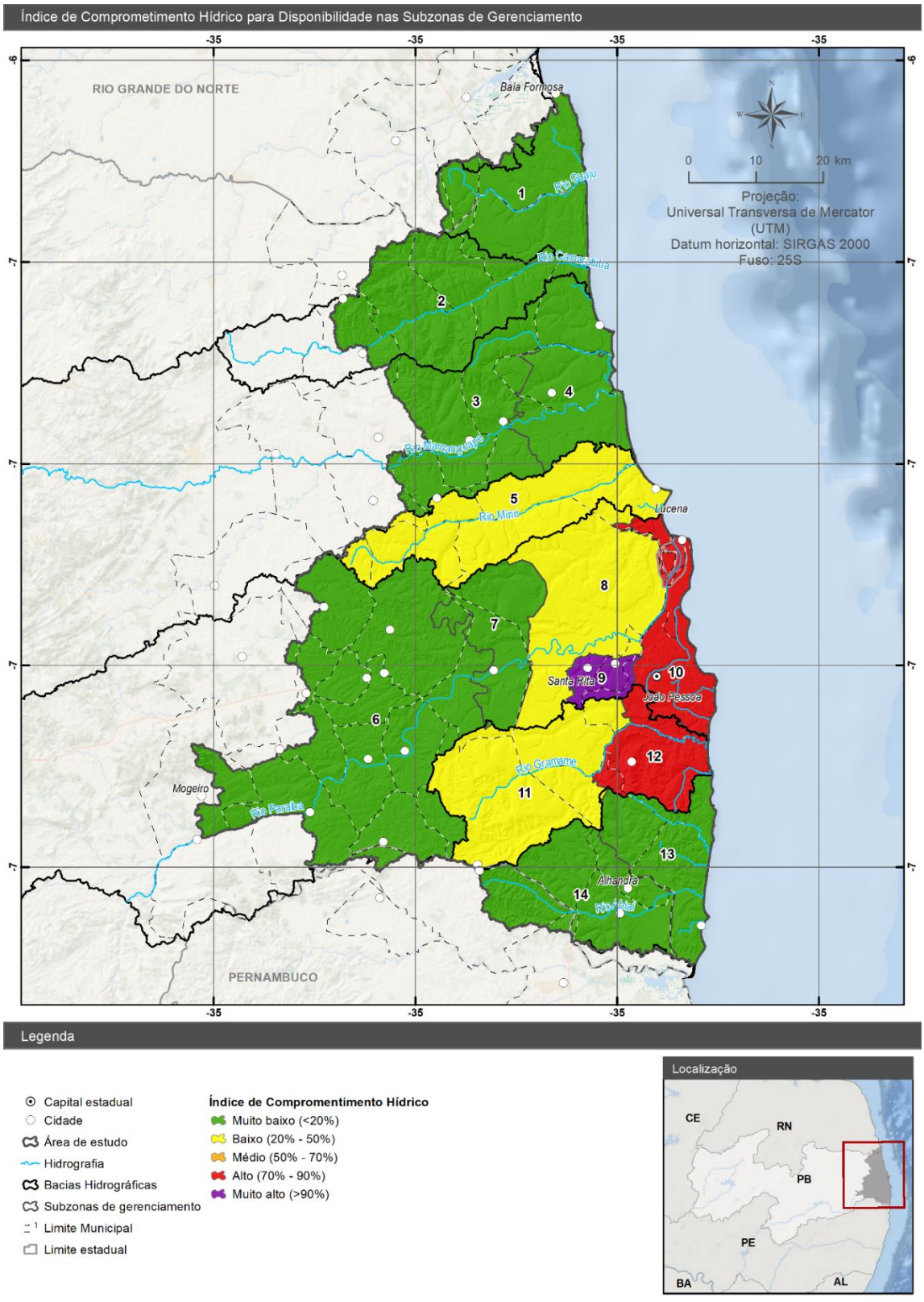


Figura 4.31 – Índice de comprometimento hídrico da disponibilidade nas zonas de gerenciamento.

4.3.3 *Índices de Sustentabilidade Hídrica*

Os indicadores de sustentabilidade hídrica buscam refletir a condição da utilização e gestão da água em uma determinada bacia hidrográfica ou sub-bacia. As descrições abaixo foram propostas por Albuquerque e Rêgo (1999).

4.3.3.1 Índice de ativação do potencial (IAP)

O Índice de Ativação Potencial (IAP) representa a relação entre o potencial de água que foi utilizado e o potencial total (Equação 25), variando de 0 a 1. Um índice de 0 indica que o curso d'água ou aquífero não foi tocado e permanece em seu estado natural, enquanto um índice de 1 indica que o potencial está completamente explorado, não permitindo mais construções de barragens ou poços, exceto em casos específicos, como os aquíferos aluviais.

$$IAP = \frac{Potencialidade\ ativada\ ou\ atual}{Potencialidade\ máxima} \qquad \text{Equação 25}$$

Em que, “Potencialidade ativa ou atual” é a soma dos volumes de captação referentes a uma utilização de 24h por dia e 365 dias por ano e “Potencialidade máxima” refere-se a recarga anual, ou simplesmente à potencialidade conforme definito nos subitens anteriores.

4.3.3.2 Índice de ativação das disponibilidades (IAD)

Trata-se da comparação entre as disponibilidades de água presentes e as disponibilidades máximas possíveis (Equação 26). Esse índice varia de 0 a 1. No contexto dos recursos hídricos subterrâneos, é possível que ultrapasse o valor de 1, indicando uma exploração das reservas além dos limites estabelecidos.

$$IAD = \frac{Disponibilidade\ ativada\ ou\ atual}{Disponibilidade\ máxima} \qquad \text{Equação 26}$$

Em que “Disponibilidade ativada ou atual” é a soma dos volumes de captação referentes a uma utilização de 24h por dia e 365 dias por ano para a indústria e 8h por dia e 365 dias por ano para outras finalidades. A “Disponibilidade máxima” trata-se da disponibilidade apresentada e estimada nos subitens anteriores.

4.3.3.3 Índice de utilização das disponibilidades (IUD)

Corresponde à relação entre a demanda total e as disponibilidades disponíveis. Os índices inferiores a 1 indicam que as demandas estão sendo atendidas, enquanto os índices acima de 1 sugerem demandas não satisfeitas. A viabilidade de atender às demandas reprimidas surge da identificação de potenciais não explorados ou de disponibilidades ainda disponíveis.

Quando as demandas são comparadas com as disponibilidades máximas, é denominado Índice de Utilização das Disponibilidades Máximas (IUDM) (Equação 27), e quando confrontadas com as disponibilidades atuais, é referido como Índice de Utilização das Disponibilidades Atuais (IUDA) (Equação 28).

$$IUD_M = \frac{Demandas\ agregadas\ totais\ anuais}{Disponibilidade\ máxima} \qquad \text{Equação 27}$$

Em que “Demandas agregadas totais anuais” trata-se das demandas estimadas na etapa de diagnóstico (capítulo 2), porém, resumidas nas subzonas de gerenciamento e não nos municípios.

$$IUD_A = \frac{Demandas\ agregadas\ totais\ anuais}{Disponibilidade\ ativada\ ou\ atual} \qquad \text{Equação 28}$$

4.3.3.4 Resultados dos índices

O Quadro 4.24 apresenta os resultados encontrados para os índices para cada uma das subzonas de gerenciamento e os mapas da Figura 4.32 apresentam a distribuição dos respectivos índices.

Embora esses índices tenham sido aplicados aqui por serem usados em outros trabalhos tais como Costa (*et al.*, 2007; 2009), uma comparação direta entre os valores encontrados fica dificultada, uma vez que os trabalhos citados trabalharam em áreas distintas das apresentadas neste estudo e também utilizaram tanto demandas quanto disponibilidades superficiais e subterrâneas para o cálculo dos índices, além disso, a metodologia de obtenção das recargas foi diferente. Mesmo assim, buscou-se alguma comparação com as principais conclusões dos trabalhos conforme descrito a seguir.

No Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH, 2006), com relação às disponibilidades de água subterrânea, os índices de ativação encontrados eram muito baixos, havendo espaço para perfuração de novos poços ou outras captações nos sistemas aquíferos sedimentares, esse resultado foi encontrado em quase todas as bacias hidrográficas. A única exceção foi a bacia do rio Gramame, na qual as disponibilidades máximas já estavam totalmente ativadas (IAD = 1,06), mostrando que o limite do potencial de água subterrânea que pode ser explorado estava sendo ultrapassado.

Em comparação aos resultados de IAD encontrados no presente trabalho, a subzona 9, que ocupa uma pequena região da bacia hidrográfica do rio Baixo Paraíba (IAD =4,263 e IAP = 6,864) está em situação mais preocupante do que a do rio Gramame, na subzona 12, ou seja, a região leste desta bacia está com IAD=0,510.

Já o trabalho de Costa (2009), que abordou a bacia hidrográfica do Baixo Paraíba, encontrou um IAD=0,723 para as águas subterrâneas. Quando estimadas as médias das subzonas de gerenciamento que estão nesta bacia, o valor do IAD encontrado neste trabalho é de 1,119, ou seja, maior do que o valor encontrado por Costa (2009). Os demais índices encontrados por Costa (2009) estão apresentados no Quadro 4.22, em comparação com os valores médios encontrados no presente trabalho para as subzonas que compõe a bacia hidrográfica do rio Baixo Paraíba.

O trabalho de Costa (2006) obteve os índices de sustentabilidade IAP e IAD para as bacias hidrográficas do Baixo Paraíba e para o rio Mamanguape. Estas comparações com o presente estudo estão no Quadro 4.22 e o Quadro 4.23, respectivamente.

Quadro 4.22 – Comparação entre os índices de Sustentabilidade hídrica do trabalho de Costa (2009) e o presente trabalho para a bacia hidrográfica do Baixo Paraíba.

Índice	IAP	IAD	IUDm	IUDa
Presente trabalho	1,812	1,119	2,864	13,513
Costa (2009)	0,827	0,723	0,434	2,346
Costa (2006)	0,397	0,329	-	-

Quadro 4.23 – Comparação entre os índices de Sustentabilidade hídrica do trabalho de Costa (2006) e o presente trabalho para a bacia do rio Mamanguape.

Índice	IAP	IAD
Presente trabalho	0,078	0,044
Costa (2006)	0,101	0,100

Quadro 4.24 – Resultado dos Índices de Sustentabilidade Hídrica para cada subzona de gerenciamento.

Subzona	Potencialidade ativada	Disponibilidade ativada	Potencialidade máxima	Disponibilidade máxima	Demanda agregada	IAP	IAD	IUDm	IUDa
1	465.156,00	155.052,00	110.452.317	66.271.390	5.717.471,04	0,004	0,002	0,086	36,875
2	2.964.033,60	1.002.611,20	111.614.077	66.968.446	20.992.336,77	0,027	0,015	0,313	20,938
3	5.706.789,60	1.925.623,20	75.728.007	45.436.804	36.341.295,77	0,075	0,042	0,800	18,872
4	5.039.102,40	1.679.700,80	61.793.426	37.076.055	3.102.445,42	0,082	0,045	0,084	1,847
5	19.040.560,80	6.381.893,60	51.707.785	31.024.671	51.477.825,81	0,368	0,206	1,659	8,066
6	42.285.746,40	14.543.468,80	52.860.360	31.716.216	48.345.169,31	0,800	0,459	1,524	3,324
7	1.075.114,80	358.371,60	28.062.284	16.837.370	17.101.988,36	0,038	0,021	1,016	47,721
8	8.992.052,40	3.336.187,60	53.808.522	32.285.113	45.408.369,82	0,167	0,103	1,406	13,611
9	24.256.002,00	9.040.232,40	3.534.056	2.120.433	21.086.921,34	6,864	4,263	9,945	2,333
10	84.365.808,00	31.742.444,00	70.876.303	42.525.782	18.296.455,41	1,190	0,746	0,430	0,576
11	7.811.292,00	3.699.172,80	86.527.103	51.916.262	121.436.103,88	0,090	0,071	2,339	32,828
12	30.201.501,60	17.544.878,40	57.303.265	34.381.959	15.460.843,21	0,527	0,510	0,450	0,881
13	10.483.968,00	4.452.124,00	85.481.356	51.288.814	8.721.698,92	0,123	0,087	0,170	1,959
14	3.242.864,40	1.698.826,80	106.748.117	64.048.870	65.130.317,70	0,030	0,027	1,017	38,338

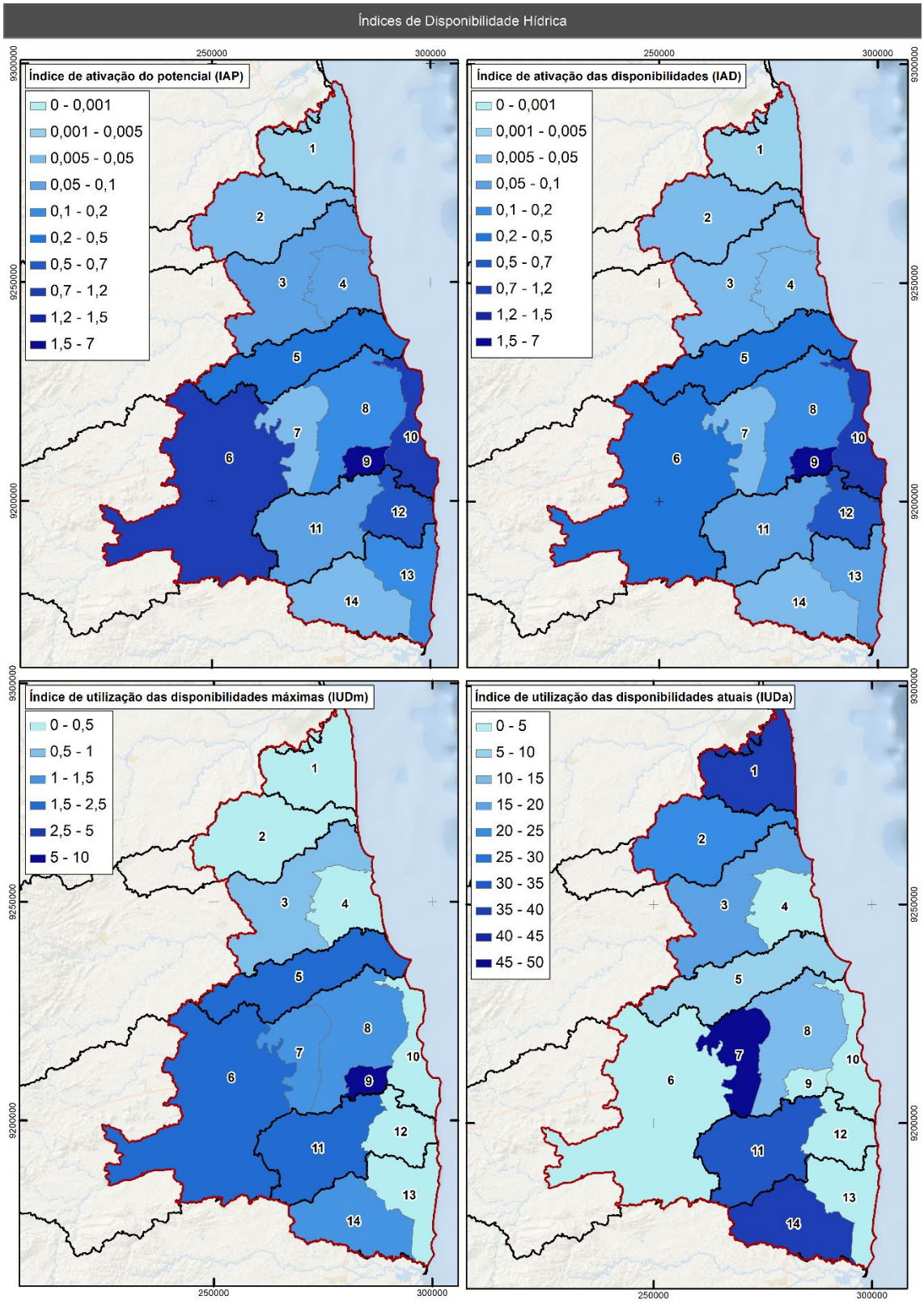


Figura 4.32 – Resultados espacializados dos Índices de Sustentabilidade Hídrica para cada subzona de gerenciamento.

4.3.4 *Zonas de gerenciamento*

Uma vez calculadas as potencialidades, disponibilidades e índices de comprometimento hídrico nas subzonas de gerenciamento, foi possível identificar a partir da observação da criticidade quanto à disponibilidade de água (Figura 4.31), novos agrupamentos de áreas, os quais foram então designados como zonas de gerenciamento, conforme ilustrado na Figura 4.33.

Na análise do índice de comprometimento hídrico observou-se que a maior parte das subzonas apresentaram classificação como muito baixo ou baixo. A partir desses resultados para as subzonas de gerenciamento, junto com a coordenação da AESA, estipulou-se a criação de zonas a partir das semelhanças entre as características da relação entre demandas e disponibilidade das subzonas (ICH). Desa forma, foram criadas três zonas de gerenciamento que aglutinaram as subzonas mais ou menos críticas em função do índice de comprometimento hídrico. Foram, portanto, definidas as zonas estáveis, de atenção e críticas.

Assim, foram determinadas como zonas estáveis as regiões compreendidas pelas subzonas de comprometimento hídrico baixo ou muito baixo. Com a mesma lógica foi definida a zona de atenção, representadas pelas subzonas que apresentaram índice de comprometimento hídrico variando entre médio e alto. A zona de atenção recebeu esse nome em função da relação entre demandas e disponibilidade hídrica não estar confortável, sendo necessário um maior rigor quanto ao aumento da explotação de água subterrânea.

Por fim, foi definida a zona crítica como sendo a região com índice de comprometimento hídrico classificado como muito alto, que atualmente compreende apenas a subzona 9. Pelo seu ICH muito alto, a zona crítica deverá receber monitoramento das vazões atuais de explotação de água subterrânea, além de evitar novas retiradas de água. A partir da análise conjunta das subzonas é possível realizar a gestão dos recursos hídricos de maneira regional, para além dos limites das subzonas, agrupando as suas características de balanço hídrico.

A metodologia de definição das zonas de gerenciamento apresentada acima foi discutida e aprovada com os integrantes da AESA em reunião realizada dia 11/03/2024. A discussão possibilitou que a definição das zonas fosse realizada de maneira integrada e agregando a visão do órgão gestor a respeito da gestão dos mananciais subterrâneos. O Quadro 4.25 apresenta uma discretização de como as subzonas foram agrupadas para formar as zonas de gerenciamento em relação ao Índice de Comprometimento Hídrico. Enquanto o Quadro 4.26 apresenta os parâmetros avaliados para cada zona de gerenciamento.

Quadro 4.25 – Classificação das zonas em relação às subzonas e ao índice de criticidade.

ICH	Subzonas	Zonas
Muito Baixo	1, 2, 3, 4, 6, 7, 13 e 14	Zona estável
Baixo	5, 8 e 11	
Médio		Zona de atenção
Alto	10 e 12	
Muito Alto	9	Zona crítica

Quadro 4.26 – Parâmetros avaliados para cada zona de gerenciamento.

Parâmetro	Zona		
	Estável	Atenção	Crítica
Área (km²)	4767,53	381,85	60,15
Demanda (m³/ano)	43.766.864	54.066.200	8.585.970
Potencialidade (m³/ano)	824.783.355	128.179.568	3.534.056
Disponibilidade (m³/ano)	494.870.013	76.907.741	2.120.433
Balanço hídrico relativo	8,8%	70,3%	404,9%3
Balanço hídrico	451.103.149	22.841.541	-6.465.537
ICH	0,10	0,70	4,05
IAP	0,16	0,86	6,86
IAD	0,10	0,63	4,26
IUDm	0,95	0,44	9,94
IUDa	20,40	0,73	2,33

As classificações do índice de comprometimento hídrico das subzonas tendem a mudar ao longo dos anos, especialmente devido ao aumento das demandas impulsionado pela expansão urbana. Nesse sentido, destaca-se que as zonas de gerenciamento podem também ser redefinidas buscando apresentar a situação vigente de disponibilidade hídrica nas subzonas. Assim, recomenda-se que o índice de comprometimento hídrico seja avaliado e recalculado a cada década, com o objetivo de realizar uma gestão dos recursos hídricos indo de encontro com a proteção dos mananciais subterrâneos.

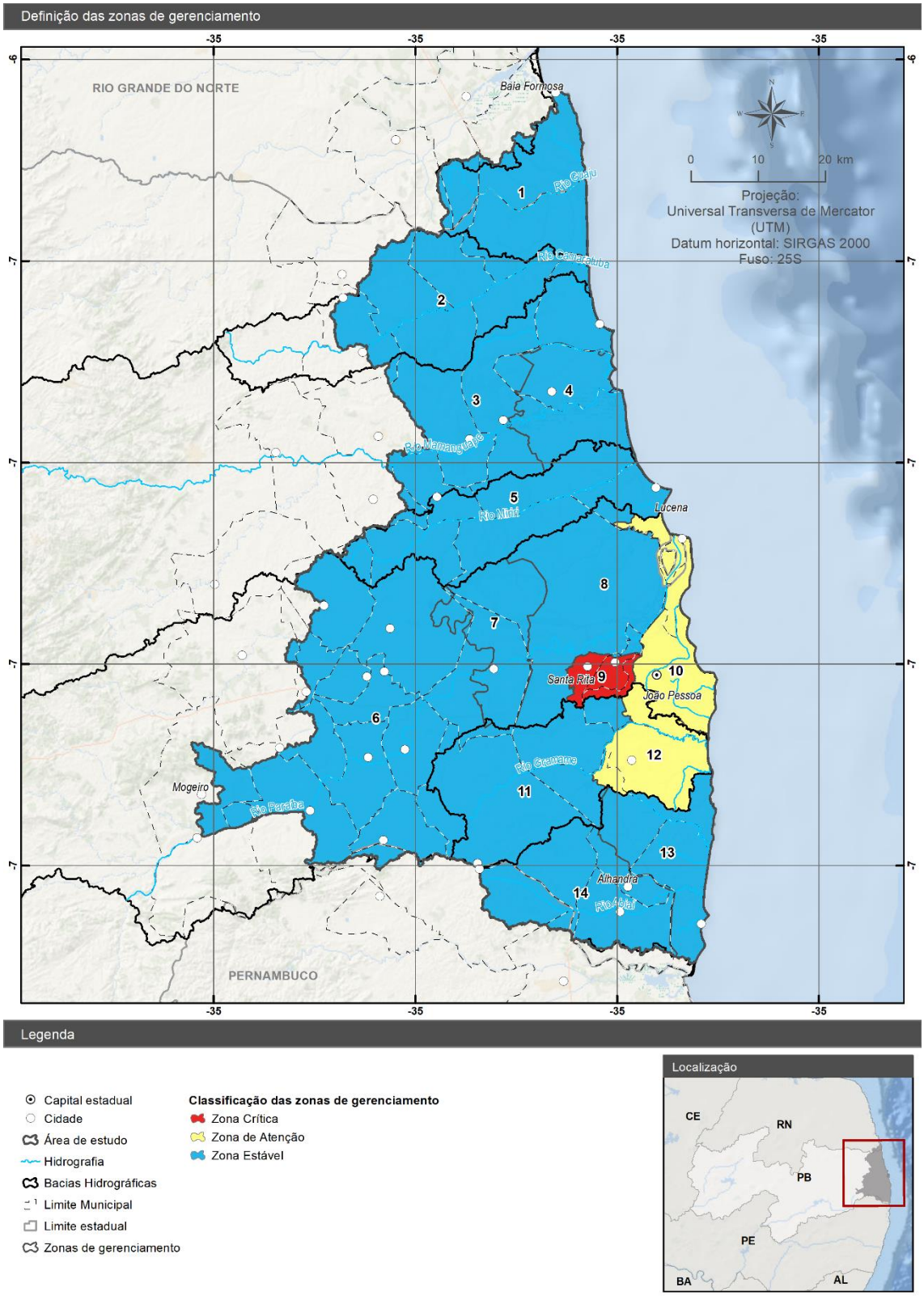


Figura 4.33 – Zonas de gerenciamento definidas a partir de critérios de criticidade quanto à disponibilidade hídrica.

4.4 OBSERVAÇÕES FINAIS DAS ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO

O presente capítulo teve como objetivo a definição de zonas e subzonas de gerenciamento e o cálculo das recargas, disponibilidades e balanços hídricos em tais áreas. Inicialmente, procedeu-se ao cálculo das recargas na região do SAPP, empregando métodos distintos para os sistemas aquíferos livre e confinado. Foram utilizados, para o sistema aquífero livre, os métodos da *Water Table Fluctuation* (WTF), Balanço Hídrico do Solo com apoio de modelagem hidrológica, recursos satelitais (GRACE) e, para o sistema aquífero confinado, o método das Taxas de Fluxo.

Para o sistema aquífero livre, os resultados encontrados pelos três métodos tiveram forte convergência, apresentando valores em grandezas similares. Avaliando a porcentagem em relação à precipitação na região onde os métodos foram comparados, foi obtido 15% para o WTF, 15,7% para o Balanço Hídrico e 16,2% para o GRACE. Já para toda a área de estudo, a recarga calculada pelo método do Balanço Hídrico teve um valor médio de recarga de 224 mm, representando uma média de 16% da precipitação anual.

Essa convergência indica que os valores calculados para a recarga devam estar próximos à realidade local. Mesmo assim, recomenda-se a continuidade no monitoramento dos níveis e melhoria nos dados que são utilizados para a aplicação desses métodos, tais como detalhamento da porosidade específica, níveis estáticos sem interferência de bombeamento, conhecimento sobre a litologia dos poços monitorados e etc.

Para o sistema aquífero confinado, foi possível utilizar apenas uma metodologia, entretanto os valores ficaram dentro da casa de grandeza esperada para esse tipo de sistema que recebe a recarga de forma indireta. Para toda a região do sistema confinado, o valor estimado para a recarga foi de 32.837.669 m³ por ano.

A definição das zonas e subzonas de gerenciamento derivou da colaboração de técnicos da AESA, que contribuíram com seus insights sobre a relevância dos critérios de recarga, vulnerabilidade, uso do solo, conexão com ecossistemas e densidade de poços para a outorga na área de estudo. A ponderação espacial desses critérios resultou na primeira aproximação espacial para a definição das subzonas de gerenciamento. Ao sobrepor estruturas dos aquíferos, fontes potenciais de poluição, qualidade da água, limites das bacias e zonas previamente estabelecidas pela ASUB, delinearam-se os contornos das subzonas, corroborando com os resultados da ponderação de critérios.

A análise posterior incluiu o cálculo de recarga, disponibilidade e balanço hídrico para cada subzona de gerenciamento. A disponibilidade foi determinada como 60% da recarga, e o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) foi apresentado tanto para a recarga quanto para a disponibilidade, visando facilitar a compreensão dos balanços hídricos no SAPP. Além disso, foram calculados os índices de sustentabilidade hídrica: índice de ativação potencial (IAP), Índice de ativação das disponibilidades (IAD), Índice de utilização das disponibilidades máximo e ativado, IUDm e IUDa, respectivamente.

A partir dos resultados de comprometimento hídrico, foi possível estabelecer uma nova regionalização, possibilitando agregar as subzonas em zonas gerenciamento em função do comprometimento hídrico. Resultando assim em três zonas classificadas com diferentes níveis de criticidade: Estável, de Atenção e Crítica.

No tocante ao comprometimento hídrico em relação à disponibilidade, a subzona 9, localizada em uma região de transição entre aquífero livre e confinado, apresentou ICH Muito Alto, sendo identificada como crítica. Isso ocorreu uma vez que possui área pequena em relação às demais subzonas. Por ser uma região de intensa explotação e pelo fato de a recarga ser calculada em função da área, esta subzona acabou representando um local com maior criticidade quando comparada a demanda e a recarga total da área.

As subzonas 12 e 10, situadas no sistema confinado, exibiram ICH Alto, destacando-se por compreenderem a subzona urbana de João Pessoa e, portanto, demandarem maior atenção devido à captação expressiva de águas subterrâneas. As subzonas 5, 8 e 11 que estão fora da região urbana e no sistema aquífero livre, apresentaram ICH Baixo, e por não ser Muito Baixo, foram classificadas também como de Atenção. As demais subzonas mantiveram-se em níveis confortáveis de ICH, caracterizando como Muito Baixo, sendo, portanto, a zona Estável.

5 PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Este capítulo contempla a atividade de “Proposta de rede de monitoramento quali-quantitativa de águas subterrâneas na área do SAPP”. A proposta da rede de monitoramento quali-quantitativa apresentada neste estudo levou em consideração todo o trabalho desenvolvido nos capítulos anteriores, que forneceram os subsídios necessários para a estruturação e definição da rede no formato apresentado.

Nas etapas anteriores, foram estabelecidas, entre outras questões, as zonas e subzonas de gerenciamento do SAPP. Essas zonas e subzonas têm como objetivo orientar e direcionar o gerenciamento das águas subterrâneas no sistema em função da criticidade de cada uma. Além disso, as subzonas de gerenciamento, juntamente com o status do balanço hídrico (criticidade) apresentado, têm como objetivo apoiar a formulação da proposta de implementação da rede de monitoramento e orientar as regiões do aquífero que necessitam quais tipos de monitoramento, tais como parâmetros que devem ser medidos e com que frequência.

A formulação da proposta de implementação da rede de monitoramento foi pensada para acontecer aos poucos, aproveitando incialmente os poços existentes, ou seja, já perfurados. Essa foi denominada como rede inicial. Para um segundo momento, após a implementação e estruturação da rede inicial, foi estabelecida a localização para a implementação de uma rede de dedicação exclusiva, a qual teria poços perfurados com a finalidade única de fornecer dados para o monitoramento do SAPP. Paralelamente à implementação das redes inicial e de dedicação exclusiva, seria implementada a rede de poços flutuantes. Esta foi designada assim, por ter como finalidade, o fornecimento de dados que não dependem do controle direto da AESA, mas que seriam recebidos de todos os poços outorgados como uma condicionante da manutenção da outorga.

Por fim, o plano de monitoramento quali-quantitativo estabelece as premissas e os equipamentos que devem constituir a rede para que essa possa exercer os objetivos pretendidos. É apresentada também a forma como os dados devem ser coletados e armazenados e os procedimentos para alimentação do banco de dados.

5.1 OBJETIVO DA REDE DE MONITORAMENTO DO SAPP

A rede de monitoramento do SAPP tem como objetivo geral, ser um instrumento de aquisição de informações sobre a qualidade e quantidade de águas subterrâneas armazenadas neste

sistema. A análise das informações contínuas e sistemáticas, extraídas do monitoramento de longo termo, constitui um procedimento fundamental de gestão e permitirá avaliar o grau de comprometimento das disponibilidades hídricas e da qualidade das águas subterrâneas ao longo do tempo.

O conhecimento obtido por meio do monitoramento contínuo qualitativo e quantitativo será fundamental para a implementação de medidas de controle, proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos do SAPP. Além disso, este conhecimento poderá apoiar a aplicação dos instrumentos de outorga de uso e licenciamento de perfuração de poços profundos, que são responsabilidade da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

Em função da situação dos SAPP estudada nos capítulos anteriores desta consultoria, é possível afirmar que o sistema aquífero sofre sérias pressões antrópicas em locais específicos, os quais precisam ser monitorados com maior cautela. Não se limitando aos locais que já registram superexplotação, o monitoramento do sistema como um todo se mostrou necessário no intuito da obtenção de dados para que, no futuro, as estimativas de recarga sejam ainda mais precisas e que a qualidade das águas seja mais bem compreendida, possibilitando assim a identificação de contaminações por origem antrópica. Nesse sentido, com base na experiência dos estudos das etapas anteriores e com base em diretrizes da literatura tais como a *European Commission* (2004) e a *European Communities* (2007), os objetivos específicos da rede de monitoramento do SAPP foram definidos, e estão listados a seguir:

- Promover uma avaliação confiável da condição quantitativa dos corpos de água subterrânea, incluindo a avaliação da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo;
- Estimar a direção e taxa de fluxo da água subterrânea em todo o SAPP a partir de dados medidos simultaneamente e em diferentes períodos do ano;
- Estabelecer avaliações de tendência de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas;
- Definir o estado qualitativo dos SAPP;
- Identificar tendências significativas de crescimento na concentração de poluentes e no aumento do rebaixamento do nível d'água do SAPP;
- Fornecer subsídios para atualização do status do balanço hídrico e sua criticidade promovendo informações confiáveis ao longo dos anos para fornecimento adequado

de outorga de águas subterrâneas nas zonas e subzonas de gerenciamento em função da criticidade atualizada;

- Monitorar a intrusão salina nas subzonas litorâneas.

As metas da rede de monitoramento de águas subterrâneas do SAPP estão listadas a seguir:

- Institucionalização de 1 (uma) rede de monitoramento de águas subterrâneas para o SAPP, de responsabilidade da AESA;
- Instalar 1 (um) sistema de recebimento de dados de qualidade da água vinculado ao sistema de outorgas;
- Passar a receber, de todos os novos poços outorgados, dados de qualidade da água para serem inseridos no sistema;
- Adequar e instalar equipamentos de medição de níveis e transmissão de dados em 37 (trinta e sete) poços de monitoramento (rede inicial);
- Perfurar e instalar equipamentos de medição de níveis e transmissão de dados em 15 (quinze) poços de monitoramento (rede de dedicação exclusiva);
- Institucionalizar os critérios de outorga que subsidiarão a rede flutuante.

No decorrer do texto é explicado como essas metas foram estabelecidas.

5.2 REDES DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO SAPP

Os tópicos a seguir tem como objetivo apresentar as redes de monitoramento de águas subterrâneas em operação (5.2.1) ou descontinuadas (5.2.2) na área do SAPP. Tais informações já foram levantadas e tratadas com profundidade no capítulo 2 - DIAGNÓSTICO e são retomadas aqui de forma mais breve pois são usadas posteriormente para a proposição da rede de monitoramento do SAPP. Além disso, parte dos dados das redes mencionadas abaixo foram utilizados no capítulo 4 para as estimativas de recarga das águas subterrâneas.

5.2.1 *Rede de monitoramento em operação*

No âmbito federal, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) é responsável pelo planejamento, coordenação e operação da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS). Esta rede representa a única iniciativa em operação atualmente, dedicada ao monitoramento dos níveis de água do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco.

A proposta da rede RIMAS é fundamentalmente quantitativa, ou seja, tem a finalidade de registrar as variações de nível de água dos aquíferos em território nacional. Todavia, ainda que não tenha o objetivo específico de avaliar a qualidade da água subterrânea, realiza medições anuais da condutividade elétrica, pH, potencial de oxirredução, além de atender parcialmente aos parâmetros mínimos fixados pela resolução CONAMA Nº 396.

Medidas de nível de água são registradas automática e sistematicamente em três poços de observação perfurados no subsistema confinado do SAPP, exclusivamente em área de ocorrência do Aquitardo Gramame, desde novembro de 2011. Esses poços se localizam nas áreas urbanas de João Pessoa (códigos 2600047476 e 26000047473) e de Cabedelo (2600008444) (https://rimasweb.sgb.gov.br). As informações relativas ao monitoramento de longo termo, disponibilizadas pela CPRM, proporcionam os melhores e mais confiáveis dados de oscilações de níveis de poços do SAPP. Uma análise detalhada desses dados foi apresentada e discutida nos capítulos 2 e 3 e as séries de dados que tinham a qualidade necessária foram usadas para estimativas da recarga no capítulo 4. Além disso, o anexo digital com as fichas dos poços e séries históricas de cada poço também contemplam essas informações.

Os três poços em operação da rede RIMAS na área de estudo possuem dados disponíveis no sítio eletrônico da CPRM[2] de novembro de 2011 a fevereiro de 2024, com algumas falhas que somam no máximo 27 meses nesse período. Para o diagnóstico e estimativas de recarga no SAPP, essas séries se apresentaram de grande importância por compreenderem um período relativamente longo, em que puderam ser observadas tendências no nível monitorado da água. Dessa forma, esta rede de monitoramento é muito relevante para a região, porém apresenta como principal lacuna a baixa quantidade de pontos monitorados.

Segundo levantamentos realizados por essa consultoria em bancos de dados oficiais (Hidroweb, ANA), não existem estações pluviométricas nos locais dos poços que teriam como finalidade proporcionar uma melhor avaliação integrada com as águas superficiais, como enfatizado por Mourão (2009). Nesse sentido, o referido autor recomenda que a seleção de poços de monitoramento leve em consideração a proximidade com redes pluviométricas existentes e, quando possível, também com redes fluviométricas, o que foi seguido para a elaboração da proposta de rede aqui apresentada.

[2] https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/

Periodicamente, é feita a coleta dos dados armazenados para tratamento e disponibilização para consulta no website https://rimasweb.sgb.gov.br/. Análises hidroquímicas de alguns parâmetros são realizadas anualmente, como mencionado acima. Análises contemplando quase 50 parâmetros são realizadas a cada cinco anos ou quando parâmetros indicadores mostrem variação significativa na química da água. O Quadro 5.1 lista os parâmetros hidroquímicos de análise padrão realizada pela CPRM.

Quadro 5.1 – Parâmetros hidroquímicos de análise padrão da CPRM.

Parâmetros hidroquímicos		
pH (*in loco* e lab)	Berílio	Lítio
Eh (*in loco*)	Boro Total	Magnésio Total
Temperatura (*in loco*)	Brometo	Manganês Total
Condutividade Elétrica (*in loco*)	Carbono Orgânico Dissolvido	Mercúrio Total
Turbidez	Cálcio Total	Nitrato
Cor	Cádmio Total	Nitrito
Sólidos Dissolvidos	Cloreto Total	Nitrogênio Kjeldhal
Resíduo Seco 180ºC	Chumbo Total	Níquel Total
Dureza Total	Cobre Total	Potássio Total
Carbonato	Cobalto Total	Selênio Total
Bicarbonato	Cromo Total	Sílica
Alcalinidade de bicarbonato	Estanho	Sódio Total
Alcalinidade de carbonato	Estrôncio	Sulfato
Alcalinidade de hidróxido	Ferro Total	Titânio
Alumínio Total	Fluoreto Total	Zinco Total
Arsênio Total	Fosfato	Vanádio Total
Bário Total		

Fonte: Rede RIMAS

5.2.2 *Redes de monitoramento descontinuadas*

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, o Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017), uma colaboração entre Brasil e Alemanha, implementou uma rede de monitoramento quantitativo das águas subterrâneas do SAPP, nas bacias hidrográficas dos rios Paraíba e Gramame, localizadas no município de João Pessoa. Além disso, em alguns poços também foi conduzido o monitoramento da qualidade dessas águas subterrâneas.

Inicialmente, a rede do Projeto BRAMAR foi planejada para incluir 42 poços de monitoramento. No entanto, devido a questões técnicas, foi reduzida para 32 poços. A maioria desses poços era do tipo Amazonas e destinava-se ao abastecimento de água para os residentes das áreas rurais, o que de certa forma apresentou-se como uma falha na rede pois interferia na medição dos parâmetros de monitoramento (ABELS *et al.*, 2017).

O monitoramento de níveis do subsistema livre no âmbito do Projeto BRAMAR foi realizado de novembro de 2009 a fevereiro de 2018 com registros coletados mensalmente. No entanto,

entre agosto de 2011 e outubro de 2015, as medições foram interrompidas (ABELS *et al.*, 2017).

Os dados obtidos durante esse monitoramento foram utilizados em dissertações, teses e artigos publicados por professores e pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (PPGEUA/UFPB), atualmente denominado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), como por exemplo Coelho (2011), Targino (2012) e Fernandes (2017). Demonstrando o potencial de produção científica a partir de uma rede de monitoramento na região, os trabalhos trouxeram resultados como estimativas de recarga e análise espaço-temporal da qualidade da água subterrânea. Com a implementação de uma nova rede de monitoramento há possibilidade de maior geração de conhecimento sobre os aquíferos do SAPP.

Fruto da cooperação entre Brasil, Alemanha, Chipre e França, o Projeto *SMART-Control* (BAPTISTA, 2020) possibilitou a criação do Laboratório de Estudos Avançados sobre Recarga Gerenciada de Aquíferos e Hidrogeologia (LEMARH), com auxílio de recursos financeiros provenientes do projeto BRAMAR. Essa cooperação permitiu a instalação de um piezômetro com 130 m de profundidade no subsistema confinado do SAPP, para monitoramento do nível de água do Aquífero Beberibe. O monitoramento desse poço foi realizado no período entre o final de 2019 e março de 2022. Além desse poço piezômetro, a universidade possui mais oito poços de observação no subsistema livre, em condições de monitoramento.

Também no âmbito do Projeto BRAMAR, foram monitorados 11 poços no subsistema confinado, no município de João Pessoa, na área de ocorrência do Aquitardo Gramame. Dentre eles, citam-se os poços Pavilhão do Chá, Anatólia, Funcionários I, Funcionários II, Conjunto Mangabeira e Cristo, de propriedade da CAGEPA – Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba. Nesses seis poços, o monitoramento foi feito do modo automático e sistemático, com sensores de nível de água. O monitoramento ocorreu no período de dezembro de 2017 a março de 2018, de acordo com informações disponibilizadas pela AESA (ABELS *et al.*, 2017).

Entre as principais conclusões do Projeto BRAMAR e do Projeto *SMART-Control*, observou-se que séries históricas levantadas, como as observadas no piezômetro 2600008444 da rede RIMAS, mostram claramente a tendência de longo prazo de redução nos níveis da água dos aquíferos, a qual pode ser agravada pelo uso inadequado do recurso. O diagnóstico mostra a

lacuna existente no monitoramento do quantitativo do SAPP, onde somente algumas poucas séries de dados permitem que as tendências de longo prazo sejam avaliadas, tais tendências são fundamentais na compreensão da disponibilidade hídrica da região.

Na possível reativação desses poços para a nova rede de monitoramento do SAPP na Paraíba, além da redução de custos, seria obtida também a vantagem da continuidade das séries de dados, formando uma série histórica que permite a avaliação de tendências no nível monitorado da água. Os poços das redes descontinuadas foram submetidos a uma avaliação minuciosa e abrangente, incluindo visitas *in loco*, visando determinar sua viabilidade para reutilização. Os próximos itens abordarão com mais detalhes este tema.

5.3 PROPOSTA PARA A REDE DE MONITORAMENTO NO SAPP

Uma rede quali-quantitativa de caráter regional deve contemplar, na medida do possível, o monitoramento de todos os aquíferos ou porções deles. As áreas selecionadas para monitoramento no SAPP foram estabelecidas a partir de critérios técnicos e a instalação de poços com essa finalidade deve atender as prioridades conforme orientações por subzonas de gerenciamento.

O planejamento da rede de monitoramento de águas subterrâneas do SAPP abrangeu uma variedade de elementos e princípios técnicos, com o objetivo de estabelecer uma rede de poços que viabilizasse a coleta sistemática de dados de níveis de água e a realização regular de análises hidroquímicas, tanto em áreas críticas quanto em áreas intactas dos aquíferos.

Áreas críticas são definidas como áreas de grande explotação de água subterrânea e/ou em processo de degradação de sua qualidade natural, entre outros, para o SAPP essas áreas foram definidas no capítulo 4 e denominadas zonas críticas ou de atenção. A intensa extração de água subterrânea nessas áreas causa mudanças na superfície potenciométrica do aquífero devido à sobreposição dos cones de interferência, resultante da operação simultânea de múltiplos poços. Além disso, os riscos de contaminação das águas subterrâneas nessas áreas são potencialmente maiores, por conta da concentração de atividades poluentes.

Já as áreas definidas como intactas – ou seja, áreas sem ou com intervenção humana desprezível – também foram incorporadas ao programa de monitoramento, no capítulo 4 são denominadas zonas estáveis. Isso é especialmente importante para avaliar aspectos relacionados à recarga, balanço hídrico e controle da qualidade natural da água subterrânea. Portanto, é fundamental que essas áreas estejam livres da influência do estresse hídrico

gerado pela exploração de poços nas proximidades e distantes de fontes potenciais de contaminação.

Finalmente, a proposta de distribuição dos poços de monitoramento teve como uma de suas premissas, abranger todas as subzonas de gerenciamento, conforme definidas no capítulo 4, as quais são subdivisões das Zonas de gerenciamento e foram definidas a partir de critérios tais como os descritos acima.

Embora uma rede de monitoramento possa ser composta por poços de diversos tipos, como escavados, ponteiras e tubulares, esses últimos são os mais utilizados porque proporcionam melhores condições de monitoramento e são menos vulneráveis à contaminação (NIELSEN, 1993; FREEZE, 1979; TODD, 1959). Assim, o projeto da rede de monitoramento do SAPP levou em consideração somente poços tubulares para sua definição.

A elaboração da rede de monitoramento das águas subterrâneas do SAPP, contemplou a possibilidade de utilização de poços existentes, assim como a perfuração de novos poços. Sendo assim, os poços da rede do SAPP, dependendo de sua origem, formam a:

- Rede inicial: poços já perfurados, ativos ou inativos;
- Rede de dedicação exclusiva: poços construídos especialmente para monitoramento da quantidade e/ou qualidade das águas subterrâneas da rede do SAPP;
- Rede flutuante: poços de diferentes usuários de água subterrânea que receberão condicionantes de manutenção de outorga para contribuir com o monitoramento regional do SAPP.

No presente item, é apresentado o processo de seleção dos poços e novos pontos para compor a rede de monitoramento do SAPP. Para tal foram seguidas as etapas apresentadas na Figura 5.1. Os itens a seguir apresentam o detalhamento das etapas de construção e os resultados obtidos.

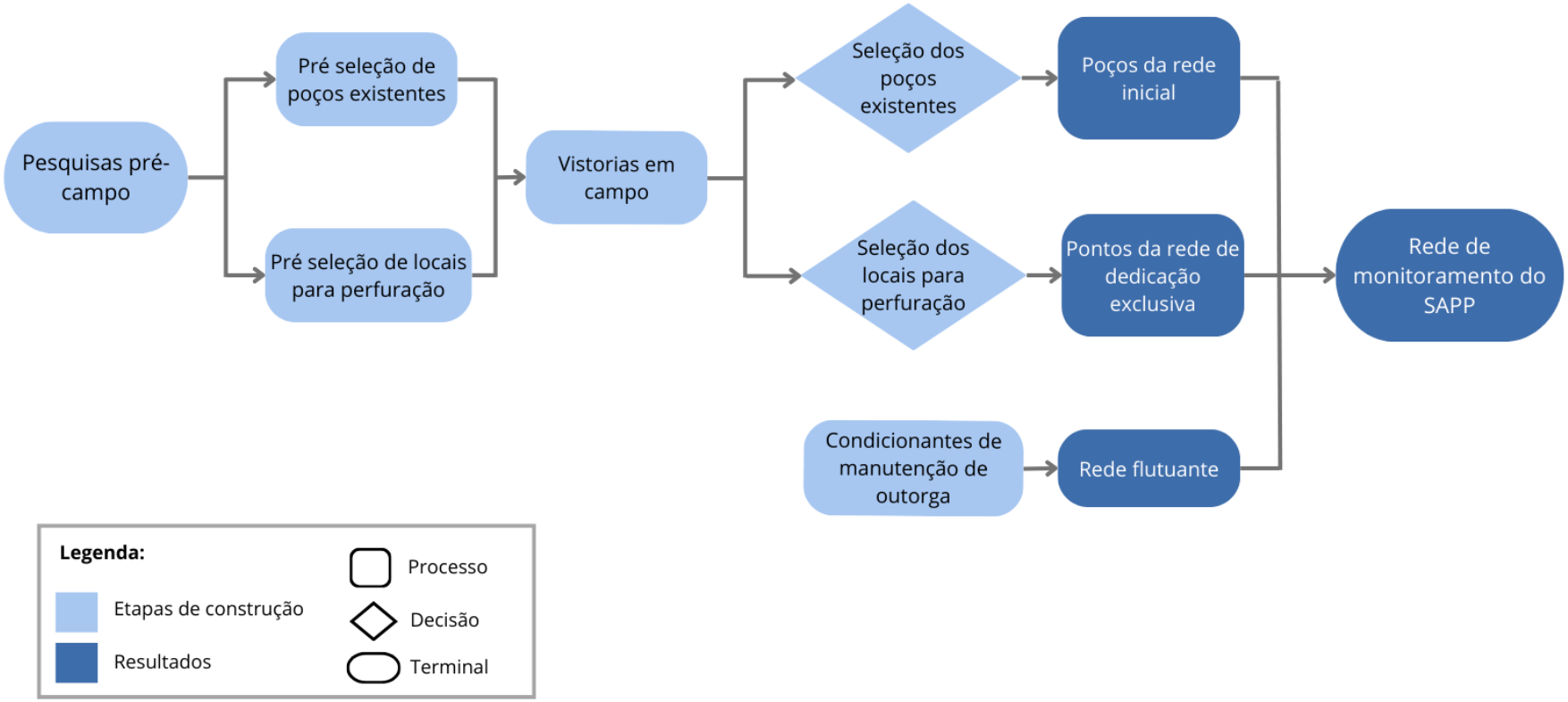


Figura 5.1 – Fluxograma do processo de seleção de poços e áreas para compor a rede de monitoramento.

5.3.1 *Seleção de poços da rede inicial*

A rede inicial foi estruturada para ser composta por poços existentes, podendo ser ativos ou desativados. Considerando os objetivos estabelecidos para a implantação da rede de monitoramento regional na área do Sistema de Aquífero Pernambuco-Paraíba, os poços desativados representam as estruturas mais adequadas para esse propósito (CETESB, 2020), tanto do ponto de vista técnico como econômico, uma vez que já estão prontas (FEITOSA *et al.*, 2008).

Poços desativados proporcionam o monitoramento integrado da quantidade e qualidade das águas subterrâneas (CETESB, 2020). Quando situados em áreas sob interferência do bombeamento de outros poços, o monitoramento proporciona informações sobre as variações do armazenamento em razão do estresse hídrico provocado pela extração de água dos aquíferos livres ou confinados. Em situações de não interferência, o monitoramento sistemático de níveis permite a estimativa da recarga dos aquíferos.

Os cadastros de órgãos públicos e projetos anteriores foram a primeira fonte de consulta com o propósito de realizar uma seleção preliminar de poços existentes que atendam aos requisitos técnicos e aos objetivos do monitoramento da quantidade e qualidade das águas subterrâneas. Ao longo deste estudo, foram levantados dados cadastrais de poços de diversas entidades (vide capítulo 2 - DIAGNÓSTICO), conforme discriminados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Dados cadastrais de poços levantados neste estudo.

Conjunto de Dados	Descrição
SIAGAS e RIMAS	O SIAGAS é um banco de dados de poços tubulares, consolidado pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB. No SIAGAS são encontrados também os poços da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), que possuem monitoramento contínuo pelo SGB.
AESA	Banco de Outorgas de poços disponibilizados à consultora pela AESA em 2023.
Costa *et al.* (2007)	Estudo de Caracterização e Verificação da Disponibilidade Hídrica da Vertente Litorânea do Estado Paraíba (DHVL-PB) realizado no ano de 2007. No âmbito do projeto foi feito um cadastro de campo, tendo como ponto de partida os poços profundos registrados no banco da AESA e no SIAGAS na época do estudo. Nesse trabalho foi realizada uma extensa campanha de campo, e conforma um dos principais estudos de águas subterrâneas no Estado da Paraíba, sendo, consequentemente, uma das principais referências do estudo em tela.
CAGEPA	Informações de poços administrados pela CAGEPA.
UFPB	Estudos realizados pelo grupo de recursos hídricos da UFPB sobre águas subterrâneas, com a perfuração de poços para monitoramento.
BRAMAR	Projeto que implementou uma rede de monitoramento quantitativo das águas subterrâneas do SAPP, nas bacias hidrográficas dos rios Paraíba e Gramame,

Conjunto de Dados	Descrição
	localizadas no município de João Pessoa. O estudo reúne dados dos poços utilizados e resultados do monitoramento no período.

Esses cadastros, de modo geral, apresentam inconsistências e incompletude de informações técnicas importantes para a seleção dos poços candidatos à rede de monitoramento, incluindo, dentre outras, a não identificação do aquífero explotado e a condição atual dos poços, se estão operando ou foram desativados ou tamponados.

Considerando a fragilidade das informações cadastrais acima descritas e levando em conta o estágio inicial da implementação de uma rede de monitoramento de caráter quali-quantitativo das águas subterrâneas na região do SAPP, conclui-se que é mais razoável e economicamente vantajoso aproveitar poços que já foram utilizados em projetos anteriores, com destaque para poços que foram utilizados no Projeto BRAMAR, da CAGEPA, da Universidade Federal da Paraíba e da RIMAS. Assim, foi elaborada uma lista preliminar com 39 poços que integraram as redes acima mencionadas, para serem avaliados em campo e, posteriormente, validados ou não para proposição de inserção na rede.

Para sua inclusão na rede, os poços passaram por uma avaliação das condições gerais e, quando necessário, foram propostas adequações que permitam as medições de nível de água e a coleta de amostras para análises hidroquímicas. As adequações incluem reforma da laje de proteção, observação de suas características construtivas, hidrodinâmicas e hidrogeológicas e colocação de cerca de proteção para evitar o acesso de animais e pessoas estranhas, e colocação de tampa de proteção apropriada no poço.

Sendo assim, para a seleção de poços existentes candidatos à inclusão na rede de monitoramento quali-quantitativa ou inicial, foram priorizados poços que atendessem aos seguintes requisitos básicos:

- Possuir relatório de perfuração completo, contemplando os aspectos construtivos, descrições litológicas, testes de bombeamento, parâmetros hidrodinâmicos, análises de água e histórico de manutenções;
- Captar, preferencialmente, água de um único aquífero ou unidade hidrogeológica (MOURÃO, 2009);
- Ter sido construído de acordo com as normas técnicas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 12212 – captação de água subterrânea e NBR 12244 – construção de poços tubulares);

- Apresentar revestimento de proteção sanitária com cimentação do espaço anular, em profundidades compatíveis com as condições hidrogeológicas locais;
- Apresentar laje de proteção sanitária de acordo com os padrões exigidos pela legislação de recursos hídricos estadual ou federal;
- Apresentar cerca de proteção de modo a impedir a entrada de pessoas estranhas ou animais no ambiente do poço;
- Não ser bombeado para extração de água;
- Possuir autorização do proprietário para inserção do poço na rede;
- Ter facilidade de acesso ao local do poço.

Uma vistoria técnica minuciosa foi realizada por profissional experiente, conforme detalhado no Anexo XIV – Fichas de Campo, com o objetivo de verificar as condições reais dos poços candidatos e identificar as adequações necessárias para, quando possível, adaptar o poço à rede de monitoramento. Além disso, foram avaliadas as possíveis fontes de contaminação situadas nas proximidades dos poços selecionados. Dessa forma, poços utilizados para abastecimento, que apresentam depredação de difícil reparo (como entupimento do poço), ou em áreas em que não é possível garantir a segurança necessária, conforme as informações obtidas da vistoria, foram excluídos da seleção. Em seguida, outras avaliações foram realizadas, como a distribuição dos poços, as condições de acesso e a possibilidade de instalação dos equipamentos de monitoramento e de proteção do poço. A partir dessas informações cada poço foi analisado individualmente pela equipe técnica, em conjunto com o profissional que realizou a vistoria.

Na análise, além da condição do poço, foi avaliada a importância de cada ponto para a rede de monitoramento. De forma geral, a maior parte dos poços existentes levantados estão localizados nas zonas de maior explotação e ocupação humana, o que é favorável ao monitoramento. Assim, buscou-se incluir os poços existentes na seleção sempre que possível, na ocorrência de poços muito próximos em alguns casos foi indicada a permanência do mais adequado para o monitoramento, seja pelo estado de conservação da sua estrutura, seja pela localização mais propícia para avaliação de contaminações e do nível dos aquíferos.

Alguns critérios utilizados para dar preferência a poços conforme a sua localização foram: busca pela inclusão de pontos próximos ao litoral para monitoramento da intrusão salina; utilização de poços de monitoramento do aquífero livre próximos a pontos com monitoramento do aquífero confinado; proximidade de poços a estações de monitoramento hidrometeorológico. Todas as justificativas para exclusão ou seleção dos poços existentes na

rede de monitoramento proposta são apresentadas no Anexo XIV – Fichas de Campo, incluindo as ações a serem realizadas para adaptar os poços selecionados aos padrões desejados.

As vistorias *in loco* dos 39 poços previamente selecionados para compor a rede de monitoramento do SAPP foram realizadas no período de 01 a 16 de agosto de 2024. Houve o acompanhamento de técnico da AESA em grande parte dos pontos visitados e de funcionário da CAGEPA em locais de propriedade da concessionária. As fichas de cada poço visitado, incluindo informações coletadas anteriormente às visitas e os dados preenchidos em campo, com descrições e fotos do que foi encontrado estão no Anexo XIV – Fichas de Campo.

A vistoria permitiu, após as avaliações detalhadas dos dados levantados, obter uma seleção para a rede inicial de monitoramento. Os 29 poços sugeridos para serem incorporados à rede de monitoramento do SAPP são, na maioria, remanescentes de projetos anteriores, os quais deixaram de ser utilizados para monitoramento após o encerramento do programa. Desses, 13 poços estão instalados no subsistema confinado (Aquífero Beberibe), 15 estão instalados no subsistema livre (Aquífero Barreiras) e um não tem indicação do subsistema ou aquífero.

Com a implementação das ações recomendadas em cada poço selecionado os aspectos construtivos e de proteção estarão adequados para integrar a rede de monitoramento. Assim, é necessário apenas a instalação dos equipamentos de medição de nível e parâmetros qualitativos que serão detalhados no item 5.4.

A partir desses resultados é obtida uma rede inicial de monitoramento, com poços existentes na região. O Quadro 5.3 apresenta esses poços e indica quais foram escolhidos para compor a rede de monitoramento do SAPP e quais não.

Quadro 5.3 – Levantamento de poços pré-selecionados para inserção na rede de monitoramento do SAPP.

Código	Nome	Origem	UTM E	UTM N	Fuso UTM	Prof (m)	Uso da água	Aquífero	Tipo poço	Indicado para compor a rede	Ações recomendadas para que o poço esteja apto/ justificativa para ter sido descartado da rede
PC1001	Fábrica de Reciclagem	Particular	286533	9198316	25 M	S/I	Desativado	Confinado	Tubular	Sim	1. Limpeza do poço; 2. Checagem da profundidade e geologia; 3. Checagem da posição dos filtros; 4. Construção de cerca de proteção; 5. Construção da laje de proteção; 6. Colocação de tampa adequada.
PC1003	Autoposto Ronaldão	Particular	293594	9207040	25 M	S/I	Desativado	Confinado	Tubular	Não	Poço em situação precária e em área com alta densidade de pontos de monitoramento.
PC1004	Pavilhão do Chá	Cagepa	291778	9212240	25 M	199,67 (útil) 210 (total)	Privado	Confinado	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Construção de cerca de proteção; 4. Construção da laje de proteção; 5. Colocação de tampa adequada.
PC1005	Anatólia	Cagepa	296289	9209064	25 M	170 (útil) 264 (total)	Desativado	Confinado	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Recuperar a boca do tubo; 4. Construção de cerca de proteção; 5. Construção da laje de proteção; 6. Construção de abrigo e segurança.
PC1006	Funcionários II	Cagepa	292089	9206268	25 M	255,1 (útil) 303 (total)	Consumo Humano	Confinado	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Implantação de tubo guia; 4. Construção de cerca de proteção; 5. Construção da laje de proteção; 6. Construção de abrigo; 7. Colocação de tampa adequada.
PC1007	Funcionários I	Cagepa	291174	9206143	25 M	250 (útil) 290 (total)	Desativado	Confinado	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros.
PC1008	Valentina	Cagepa	296594	9202786	25 M	226 (útil) 230 (total)	Aparentemente desativado	Confinado	Tubular	Não	Poço em situação precária e em área com alta densidade de pontos de monitoramento.
PC1009	Conjunto Mangabeira I	Cagepa	296688	9206822	25 M	217 (útil) 222 (total)	Desativado	Confinado	Tubular	Sim	1. Construção de cerca de proteção e abrigo.
PC1010	Cristo	Cagepa	293143	9208664	25 M	350 (total) 146 (útil)	Desativado	Confinado	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Construção de cerca de proteção e abrigo; 4. Construção da laje de proteção.
PC1011	Praia Formosa	Cagepa / RIMAS	297555	9228987	25 M	298,1 (útil) 310 (total)	Desativado / monitoramento	Confinado	Tubular	Sim	1. Limpeza da área.
PC1012	Guruji Confinado	Particular	296839	9196281	25 M	138	S/I	Confinado	Tubular	Sim	1. Limpeza da área.
PC1013	Guruji livre	Particular	296839	9196280	25 M	50	S/I	Livre	Tubular	Sim	1. Construção de cerca de proteção; 2. Construção da laje de proteção; 3. Construção de abrigo e segurança; 4. Checagem da geologia e profundidade;

Código	Nome	Origem	UTM E	UTM N	Fuso UTM	Prof (m)	Uso da água	Aquífero	Tipo poço	Indicado para compor a rede	Ações recomendadas para que o poço esteja apto/ justificativa para ter sido descartado da rede
											5. Checagem da posição dos filtros; 6. Implantação de tubo guia.
PC2001	Conjunto José Vieira Diniz	Cagepa / RIMAS	288916	9206579	25 M	100 (útil) 322 (total)	Monitoramento	Confinado	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros.
PC2002	Mangabeira II	Cagepa / RIMAS	296456	9205719	25 M	152 (útil) 154 (total)	Monitoramento	Confinado	Tubular	Sim	Não é necessário adaptação.
PC2003	Cidade Verde	Cagepa	287398	9206359	25 M	150 (útil) 160 (total)	Desativado	Confinado	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Colocação de tampa adequada; 4. Construção de cerca de proteção e abrigo.
2600047480	Alto da Boa Vista	Cagepa / RIMAS	285866	9211010	25 M	240	Monitoramento / desativado	Confinado	Tubular	Não	Poço em atividade, utilizado pela CAGEPA com bomba de alta vazão.
P10	de seu Zé Novo	Bramar	269242	9188541	25 M	12,95	Desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Construção de cerca de proteção e abrigo; 4. Construção da laje de proteção.
P15	Poço da escola	Bramar	278743	9201066	25 M	12,1	Abastecimento humano	Livre	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Construção de cerca de proteção e abrigo.
P23	de Valentina	Bramar	292356	9202829	25 M	39	Desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Limpeza do poço; 2. Checagem da profundidade e geologia; 3. Checagem da posição dos filtros; 4. Colocação de tampa adequada; 5. Recuperação da boca; 6. Construção de cerca de proteção e abrigo; 7. Construção da tampa de proteção.
P24	de seu Manoel Suica	Bramar	297578	9199210	25 M	28	Desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Colocação de tampa adequada; 4. Construção de cerca de proteção e abrigo; 5. Construção da laje de proteção.
P27	de Dra. Nanci	Bramar	296065	9218926	25 M	13	Monitoramento / desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Colocação de tubo guia; 2. Recuperar a boca do tubo; 3. Construção de cerca de proteção e abrigo; 4. Checagem da profundidade e geologia; 5. Checagem da posição dos filtros; 6. Colocação de tampa adequada.
P29	Ary Guinchos	Bramar	289589	9208038	25 M	S/I	S/I	Livre	Tubular	Sim	1. Checagem da profundidade e geologia; 2. Checagem da posição dos filtros; 3. Implantação de tubo guia; 4. Construção de cerca de proteção;

Código	Nome	Origem	UTM E	UTM N	Fuso UTM	Prof (m)	Uso da água	Aquífero	Tipo poço	Indicado para compor a rede	Ações recomendadas para que o poço esteja apto/ justificativa para ter sido descartado da rede
											5. Construção da laje de proteção e abrigo; 6. Construção de abrigo e segurança.
P31	Igreja do Bessa (GW1)	Bramar	296201	9218758	25 M	8,89	Monitoramento	Livre	Tubular	Sim	Não é necessário adaptação.
P32	Interpa (GW2)	Bramar	295839	9215550	25 M	12,59	Monitoramento	Livre	Tubular	Não	Poço em área abandonada, sem segurança.
P33	ICMBio (GW3)	Bramar	295004	9218884	25 M	14,66	S/I	Livre	Tubular	Sim	Não é necessário adaptação.
P36	SUDEMA (GW6)	Bramar	294939	9210742	25 M	22,94	Monitoramento / desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Colocação de tampa adequada.
P37	Centro de Convenções (GW7)	Bramar	300784	9205330	25 M	32	Monitoramento / desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Construção de cerca de abrigo; 2. Colocação de tampa adequada.
P38	R32 - CAGEPA (GW8)	Bramar	299191	9205422	25 M	33,59	Monitoramento / desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Construção de laje de proteção; 3. Limpeza do acesso.
P39	ETE Mangabeira (GW9)	Bramar	297159	9204978	25 M	35,17	Monitoramento / desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Construção de laje de proteção.
PX01		Particular	294955	9218850	25 M	S/I	Desativado	S/I	Tubular	Sim	1. Construção de abrigo e segurança; 2. Checagem da profundidade e geologia; 3. Checagem da posição dos filtros; 4. Colocação de tampa adequada.
PX02		Bramar	298129	9210991	25 M	36	Monitoramento / desativado	Livre	Tubular	Sim	1. Construção de abrigo e segurança.
PZ08	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295701	9210132	25 M	130	Monitoramento	Confinado	Tubular	Sim	Não é necessário adaptação.
PZ03	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295706	9210128	25 M	42	Monitoramento	Livre	Tubular	Não	Piezômetro redundante com o PZ02, que foi escolhido por estar ao lado do PZ08, que monitora o aquífero confinado.
PZ04	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295706	9210127	25 M	42	Monitoramento	Livre	Tubular	Não	Piezômetro redundante com o PZ02, que foi escolhido por estar ao lado do PZ08, que monitora o aquífero confinado.
PZ05	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295707	9210127	25 M	42	Monitoramento	Livre	Tubular	Não	Piezômetro com medidor desajustado
PZ06	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295708	9210125	25 M	42	Monitoramento	Livre	Tubular	Não	Piezômetro redundante com o PZ02, que foi escolhido por estar ao lado do PZ08, que monitora o aquífero confinado.
PZ07	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295709	9210123	25 M	42	Monitoramento	Livre	Tubular	Não	Piezômetro com medidor desajustado
PZ01	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295707	9210133	25 M	42	Monitoramento	Livre	Tubular	Não	Piezômetro com medidor desajustado
PZ02	UFPB- Centro de tecnologia	Universidade	295701	9210132	25 M	42	Monitoramento	Livre	Tubular	Sim	Não é necessário adaptação.

S/I = sem informação.

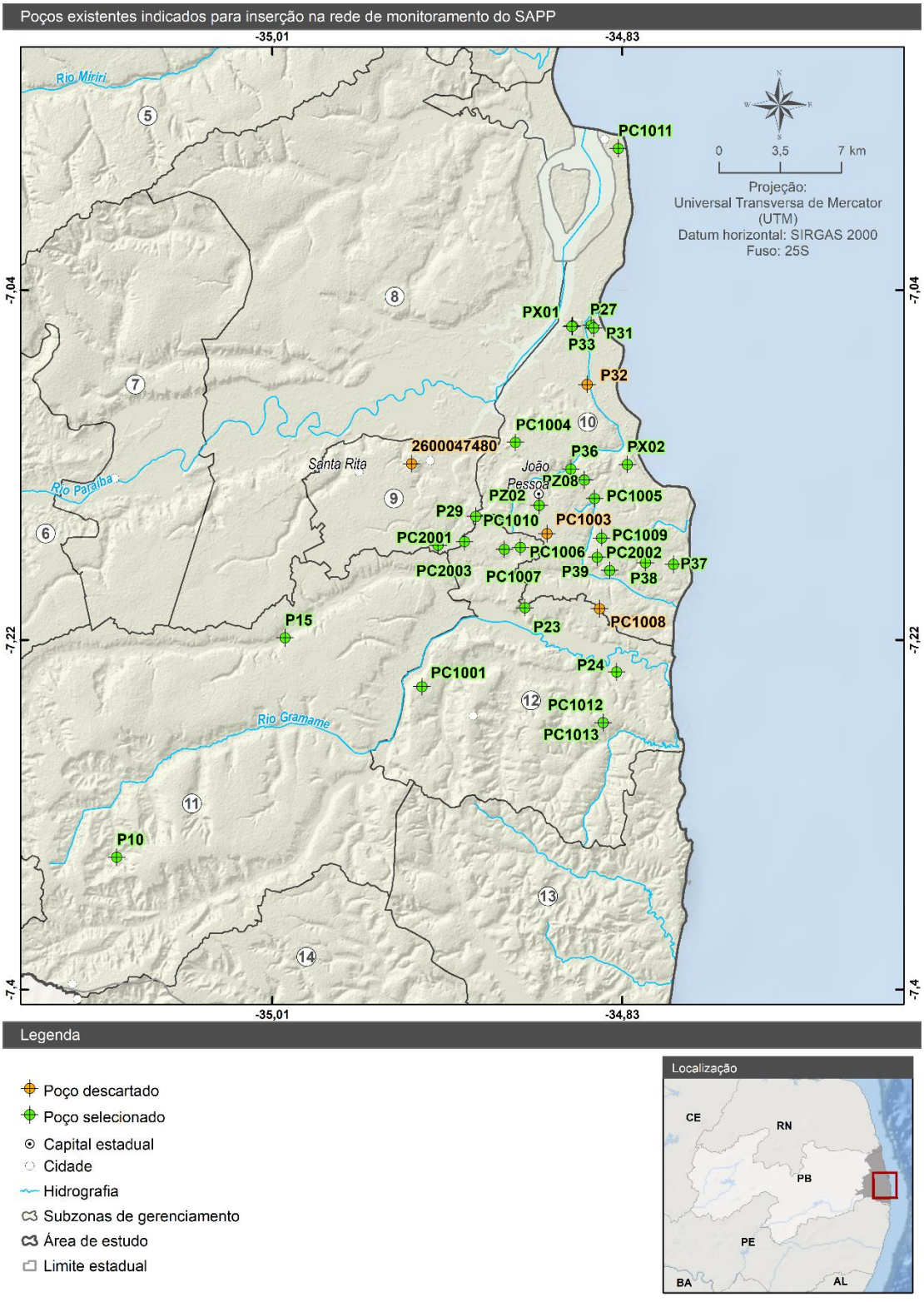


Figura 5.2 – Mapa de localização de poços existentes indicados para inserção na rede de monitoramento do SAPP.

5.3.2 *Seleção de pontos para instalação de poços de dedicação exclusiva*

A rede de dedicação exclusiva é formada por poços construídos com a finalidade específica de registrar as variações naturais de nível e da qualidade das águas subterrâneas. A instalação de novos poços foi pensada para os locais onde não estão disponíveis ou não foram identificados poços desativados que possam ser aproveitados para compor a rede de monitoramento do SAPP. Os locais aqui recomendados irão compor a rede de dedicação exclusiva, ou seja, complementar à rede que será implementada inicialmente (rede inicial) e serão criados para atendimento exclusivo do monitoramento.

A localização para esses poços foi feita preferencialmente em áreas próximas às estações hidrometeorológicas existentes, de modo a possibilitar a compreensão das oscilações naturais da superfície potenciométrica e o melhor entendimento das inter-relações entre águas subterrâneas e águas superficiais conforme indicado por Mourão, 2009; European Commission, 2004 e European Communities, 2007.

Além disso, o presente estudo foram adotou também critérios particulares à região além de critérios adotados por PROFILL-RHAMA (2020), a saber:

- Inserção de ponto de monitoramento próximo ao litoral, quando possível, para monitoramento da intrusão salina;
- Distribuição dos pontos com maior densidade nas áreas mais críticas e nas áreas de menor intervenção humana uma densidade mais baixa;
- Localização das estações fluviométricas preferencialmente em trechos de rios com vazões naturais, sem influência de obras de regularização;
- Distribuição em área considerando os principais aquíferos e a espacialização das estações;
- Situação operacional ativa da estação hidrometeorológica, de modo a permitir o monitoramento conjunto do escoamento de base, pluviometria e níveis de água subterrânea;
- Distribuição proporcional das estações nas subzonas de gerenciamento.

O levantamento das estações hidrometeorológicas na área do SAPP valeu-se do trabalho já realizado no âmbito do capítulo 2 - DIAGNÓSTICO. Sendo assim, foram obtidos 22 macrolocais como indicação para instalação de poços de dedicação

exclusiva próximos a estações para a rede de monitoramento de águas subterrâneas do SAPP. Este total compreende quatro postos fluviométricos e 18 postos pluviométricos (Quadro 5.4). Em relação às estações do diagnóstico, apenas uma fluviométrica e uma pluviométrica não foram utilizadas por estarem em região de embasamento cristalino. Desde o levantamento inicial das estações duas foram desativadas, uma fluviométrica e outra pluviométrica, porém as visitas técnicas aos locais foram mantidas, considerando a série de dados existente no local, a possibilidade de reativação das estações e a importância que esses locais representaram na distribuição da rede de monitoramento, mesmo com a ausência de estação hidrometeorológica, por serem pontos em subzonas com poucos poços existentes para monitoramento.

Complementarmente, outros pontos foram selecionados para compor a rede de monitoramento. Em subzonas com lacunas no monitoramento, mesmo após a inclusão de pontos a partir das estações hidrometeorológicas, procurou-se locais interessantes para a perfuração de novos poços. Nesse caso, além de considerar a distribuição de pontos na região, buscou-se a inclusão de alguns locais próximos ao litoral e, mais especificamente, áreas em terreno público com espaço e segurança adequados para receber um poço da rede de monitoramento, onde também a articulação com a AESA fosse facilitada, garantindo além de permissão inicial para utilização do espaço, a continuidade na facilidade do acesso para manutenção e monitoramento ao longo dos anos.

Com esse levantamento foram identificados 23 pontos de interesse para a instalação de novos poços de dedicação exclusiva para a rede de monitoramento, foram realizadas vistorias, buscando validar a localização das estações hidrometeorológicas, avaliar a possibilidade de perfuração de poço no mesmo local ou então buscar terreno apropriado na mesma localidade. Os pontos visitados e os locais indicados para perfuração dos poços são discretizados no Quadro 5.4. O detalhamento das visitas técnicas e principais apontamentos do técnico especialista para cada ponto, com fotos dos locais, são apresentados no Anexo XIV – Fichas de Campo.

Quadro 5.4 – Locais selecionados para localização de poços para a rede de dedicação exclusiva.

Local indicado para instalação de poço	UTM E	UTM N	Fuso UTM	Município	Estação hidrometeorológica próxima	Tipo da estação	Situação da estação	Subzona de Gerenciamento	Unidade Aflorante	Indicado para compor a rede
Sede da FUNAI	283981	9262126	25 M	Baía da Traição	634000 - BAÍA DA TRAIÇÃO	Pluviométrica	Operando	3	Coberturas sedimentares	Sim
Defesa Civil de Cabedelo	297911	9227137	25 M	Cabedelo	634002 - CABEDELO	Pluviométrica	Operando	10	Coberturas sedimentares	Não – Defesa civil vai deixar o local que é de propriedade privada e a zona já apresenta concentração de poços adequada.
Associação dos Plantadores de Cana (ASPLAN)	263876	9274215	25 M	Mamanguape	635117 - MAMANGUAPE/ASPLAN	Pluviométrica	Operando	2	Coberturas sedimentares	Sim
EMEF Antônia Luna Lisboa	270714	9246763	25 M	Rio Tinto	635127 - RIO TINTO	Pluviométrica	Operando	3	Coberturas sedimentares	Sim
Fazenda do Sr. Ozório	258762	9234705	25 M	Capim	635129 - CAPIM	Pluviométrica	Operando	3	Barreiras	Sim
Prefeitura de Mamanguape	265709	9243886	25 M	Mamanguape	635138 - MAMANGUAPE	Pluviométrica	Operando	3	Coberturas sedimentares	Sim
Fazenda do Sr. Armando José	272955	9270229	25 M	Mataraca	635140 - MATARACA	Pluviométrica	Operando	2	Barreiras	Sim
Estação de Tratamento Santa Rita	280921	9210216	25 M	Santa Rita	734001 - SANTA RITA	Pluviométrica	Operando	9	Coberturas sedimentares	Sim
Ministério da Agricultura	295829	9215311	25 M	Cabedelo	734002 - JOÃO PESSOA/DFAARA	Pluviométrica	Operando	10	Coberturas sedimentares	Sim
Ecoparque do aterro sanitário	284693	9201756	25 M	Santa Rita	734006 - JOÃO PESSOA/CEDRES	Pluviométrica	Operando	11	Beberibe	Sim – já existem poços de monitoramento qualitativo
EMPAER	289187	9178867	25 M	Alhandra	734008 - ALHANDRA	Pluviométrica	Operando	14	Beberibe	Sim
Reservatório Elevado da Cagepa	285861	9211032	25 M	Bayeux	734036 - BAYEUX	Pluviométrica	Desativada	9	Barreiras	Não – espaço não permite a perfuração de poço.
Cagepa - Unidade Marés	289223	9208611	25 M	João Pessoa	734037 - JOÃO PESSOA/MARES	Pluviométrica	Operando	9	Coberturas sedimentares	Sim
EMPAER	299718	9204143	25 M	João Pessoa	734038 - JOÃO PESSOA/MANGABEIRA	Pluviométrica	Operando	10	Coberturas sedimentares	Sim
Barragem Gramame	283626	9193823	25 M	Alhandra	734040 - CONDE/AÇ.GRAMAME MAMUABA	Pluviométrica	Operando	11	Coberturas sedimentares	Sim – há poço de abastecimento pontual no local
Escola Santa Elisa	296968	9175608	25 M	Pitimbu	734041 - PITIMBU	Pluviométrica	Operando	13	Coberturas sedimentares	Sim – há poço de abastecimento pontual no local
Ginásio Rafão	269202	9210060	25 M	Cruz do Espírito Santo	735019 - CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	Pluviométrica	Operando	7	Coberturas sedimentares	Sim – há poço de abastecimento pontual no local
Parque Ecológico Área Verde	266414	9198676	25 M	Pedras de Fogo	735203 - PEDRAS DE FOGO	Pluviométrica	Operando	11	Barreiras	Sim – há poço de abastecimento pontual no local
Escola Municipal Fazenda Socorro	274746	9211624	25 M	Santa Rita	38895000 - PONTE DA BATALHA	Fluviométrica	Operando	8	Coberturas sedimentares	Sim – há poço de abastecimento pontual no local
Escola Municipal Sítio Pedra	262428	9244027	25 M	Mamanguape	38790000 - PONTE DO LEITÃO	Fluviométrica	Operando	3	Barreiras	Sim
Fazenda Almas	267039	9280399	25 M	Mataraca	38690000 - FAZENDA ALMAS	Fluviométrica	Operando	1	Coberturas sedimentares	Sim
Associação dos Pequenos Produtores de Engenho Santana	263978	9204690	25 M	Cruz do Espírito Santo	38888000 - ENGENHO SANTANA	Fluviométrica	Desativada	6	Coberturas sedimentares	Sim – há poço de abastecimento pontual no local
EMEF Professora Emília Gomes da Silva	276841	9251382	25 M	Marcação	-	-	-	4	Barreiras	Sim

Local indicado para instalação de poço	UTM E	UTM N	Fuso UTM	Município	Estação hidrometeorológica próxima	Tipo da estação	Situação da estação	Subzona de Gerenciamento	Unidade Aflorante	Indicado para compor a rede
Estádio Municipal de Marcação	277136	9251002	25 M	Marcação	-	-	-	4	Barreiras	Não – há outro local mais adequado em Marcação
EMEF Professor Gibson Maul de Andrade	283418	9217125	25 M	Santa Rita	-	-	-	8	Coberturas sedimentares	Sim – há poço de abastecimento pontual no local
Secretaria de Educação de Lucena	293339	9236627	25 M	Lucena	-	-	-	5	Coberturas sedimentares	Sim
Secretaria de Saúde de Marcação	277150	9251244	25 M	Marcação	-	-	-	4	Barreiras	Não – há outro local mais adequado em Marcação

Em oito pontos escolhidos para compor a rede de monitoramento foram encontrados poços já perfurados na localidade, durante as vistorias em campo. Nesses casos foi obtido o máximo de informações possíveis sobre os poços, além de questionado aos proprietários sobre a possibilidade de utilização do poço para a rede de monitoramento. Apesar de alguns desses poços serem usados para abastecimento local, em geral operam por poucas horas na semana, sendo possível adotá-los como poços de monitoramento. Nas séries de medição de nível pode-se separar as variações pontuais, quando ocorre bombeamento, da série do nível estático da água. As pessoas consultadas indicaram que a inclusão dos poços na rede seria autorizada.

Os 23 locais selecionados estão aptos para a implementação da rede de monitoramento quali-quantitativa, com instalação de poços de dedicação exclusiva. Serão 16 poços em áreas de Coberturas Sedimentares aflorantes, 5 poços no Aquífero Barreiras e 2 poços no Aquífero Beberibe aflorante. Os locais selecionados para a rede de dedicação exclusiva estão espacializados na Figura 5.3.

A norma que orienta a construção de poços de dedicação exclusiva é a NBR 13895 (Construção de poços de monitoramento e amostragem). Para a construção dos poços, a norma coloca que o diâmetro de perfuração deve ser no mínimo de 200 mm e deve ser evitada a utilização de fluidos de perfuração. A perfuração dos poços deve ser supervisionada por profissional legalmente habilitado e os equipamentos utilizados necessitam ser adequados ao estado de agregação da rocha existente. Ainda conforme a NBR 13895, os poços de monitoramento são constituídos de: revestimento interno; filtro; pré-filtro; proteção sanitária; tampão; caixa de proteção; selo; preenchimento; guias centralizadoras. Após o término da construção, deve ser apresentado um relatório da construção dos poços de monitoramento (ABNT, 1997).

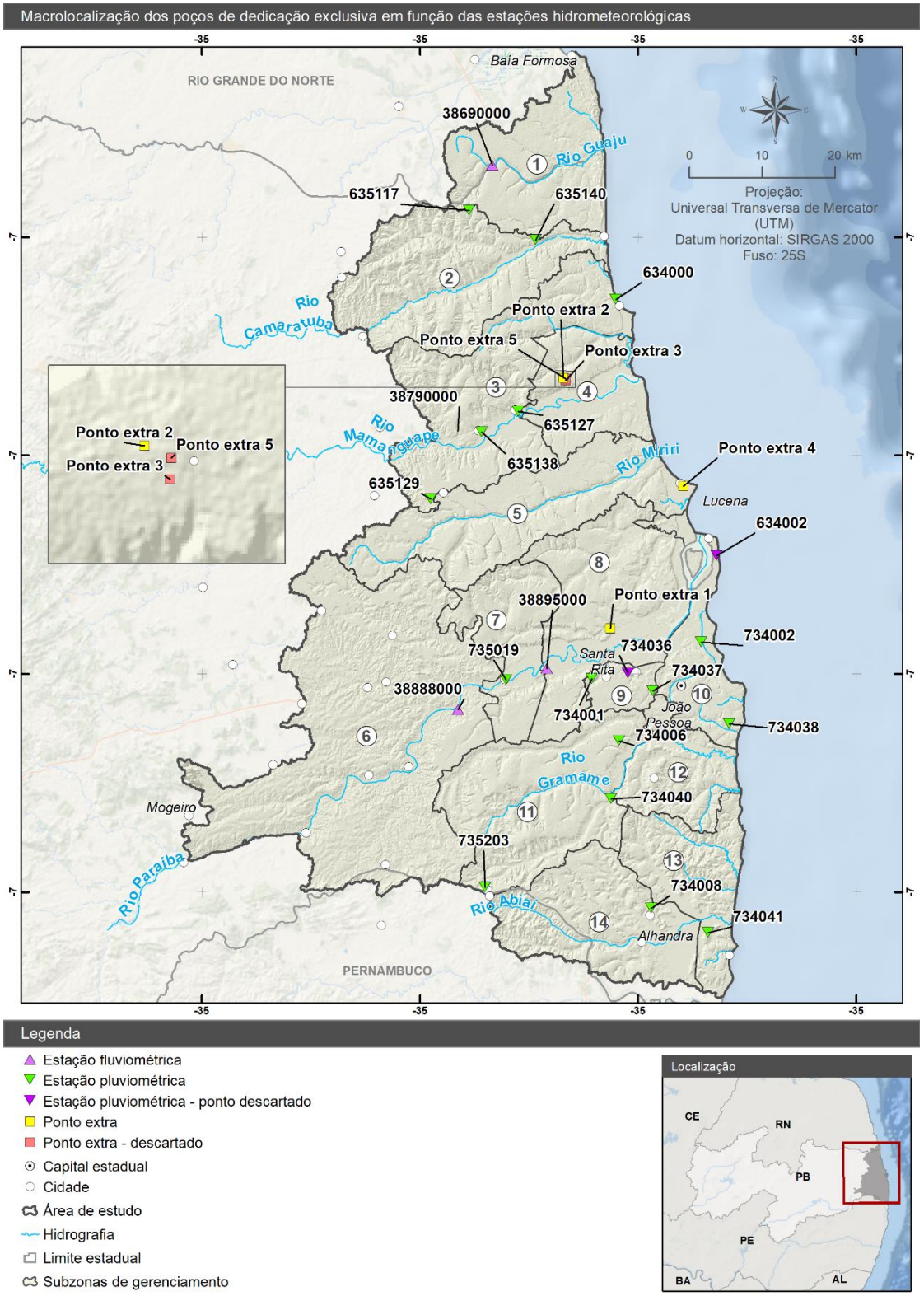


Figura 5.3 – Mapa de localização das estações fluviométricas e pluviométricas nas subzonas de gerenciamento do SAPP utilizadas no diagnóstico.

5.3.3 *Rede flutuante*

Poços da rede flutuante são assim denominados no presente trabalho pois serão poços que fornecerão dados para a rede de monitoramento do SAPP, mas não estarão sob controle e manutenção da AESA. Esses poços serão os poços que, uma vez outorgados, receberão condicionantes de manutenção de outorga. Essas condicionantes irão prever que, para que o usuário mantenha a outorga ativa, ele deva enviar à AESA uma análise de qualidade da água. Essa análise, além de cumprir a função de avaliar se o poço está seguro para uso em termos de qualidade, servirá também para o monitoramento regional do SAPP.

Para usuários de grandes captações, será solicitado o uso de hidrômetros para possibilitar o monitoramento da quantidade de água captada. Esses registros poderão ser usados com a finalidade de avaliar se as vazões outorgadas são realmente aquelas que estão sendo utilizadas. Essas questões serão mais bem detalhadas no capítulo 6, o qual estabelece os critérios de outorga para os poços do SAPP. O mapa da Figura 5.4 apresenta a espacialização de todos os poços que possuem outorga para uso de águas subterrâneas atualmente na área do SAPP.

5.3.3.1 Qualidade da água

O trabalho de Medeiros (2012) analisou a qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do Rio Paraíba, e concluiu que as águas subterrâneas são de boa qualidade, porém já apresentam comprometimento devido a atividades antrópicas. A contaminação impede a utilização das águas para consumo humano sem tratamento adequado, como a desinfecção com cloro. Ressalta-se também que com o avanço dos anos existe uma chance de ocorrer o agravamento do comprometimento da qualidade das águas.

Diante dessa realidade, torna-se essencial analisar a qualidade da água que será fornecida pelos poços. A qualidade da água do poço deve respeitar a legislação em vigor e estar classificada de acordo com os limites máximos permitidos de acordo com os usos pretendidos. Para consumo humano os padrões de qualidade são regidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 e para demais usos pela Resolução Conama nº 396/2008. Os laudos de qualidade da água deverão ser feitos em laboratório cadastrado ou obtidos em campo, para o caso dos parâmetros de campo, com equipamentos adequados, e

deverão ser acompanhados de ART de profissional habilitado. O laudo será apresentado junto aos demais documentos quando do requerimento da outorga.

Além do laudo apresentado no momento da requisição da outorga, será considerado como condicionante da manutenção da outorga, a apresentação das análises de qualidade da água subterrânea com frequência anual, abrangendo os parâmetros listados na legislação em vigor de acordo com o uso.

5.3.3.2 Hidrômetros

O Decreto Estadual n° 19.260/97 prevê em seu artigo 14 todas as modalidades de outorga estão condicionadas a comprovação de que o uso da água não cause poluição ou desperdício dos recursos hídricos. O desperdício dos recursos hídricos pode ser enfrentado a partir da gestão da demanda, que busca usar o recurso hídrico de maneira racional e evitando desperdícios. Costa (2009) traz um exemplo referente as concessionárias de abastecimento de água, que utilizam a água para abastecimento humano, onde a concessão de outorga para esses usuários ficaria vinculada ao desenvolvimento de um plano de ações preventiva e corretivas de adução de água, com o objetivo reduzir as perdas por vazamentos e desperdício na rede de distribuição. Em complemento, para um usuário do setor industrial, a concessão de outorga estaria vinculada a apresentação de um projeto de redução de desperdícios ou reuso da água.

A instalação de um instrumento medidor de vazão, chamado hidrômetro, diretamente na tubulação de captação de água pelo poço pode ser adotada como uma medida do órgão gestor visando garantir que o usuário está utilizando somente a vazão que lhe foi outorgada.

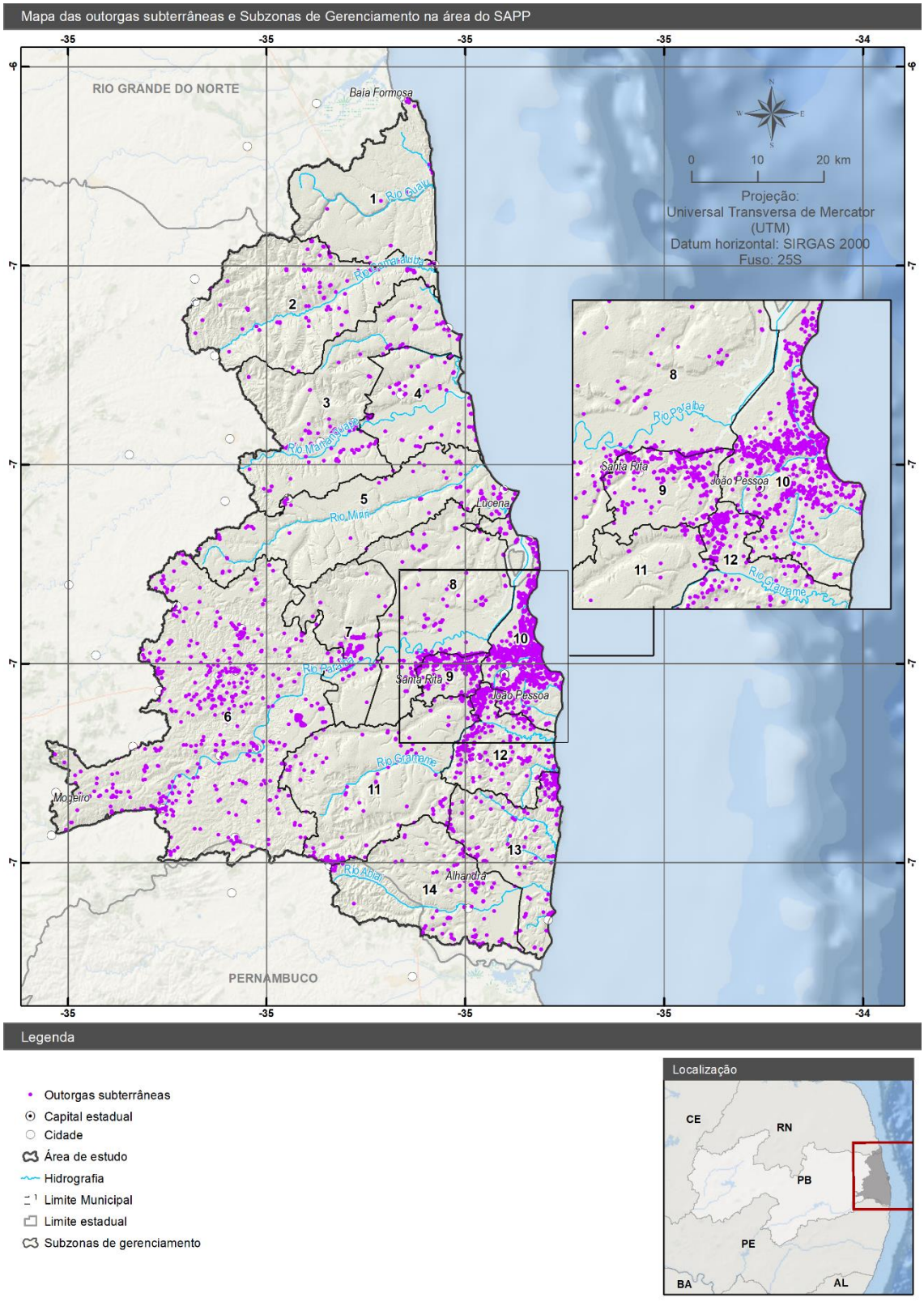


Figura 5.4 – Distribuição dos pontos de outorga das águas subterrâneas no SAPP.

5.3.4 *Compilado dos locais selecionados para a rede do SAPP*

O presente tópico tem como finalidade apresentar o compilado da proposição da rede de monitoramento a partir dos levantamentos apresentados até aqui.

A rede inicial proposta para o monitoramento quali-quantitativo do SAPP compreende o aproveitamento de 37 poços existentes, que foram utilizados em projetos anteriores ou que foram localizados em pontos de interesse durante o trabalho de campo e a perfuração de mais 15 poços de dedicação exclusiva (poços novos), próximos às áreas onde estão localizadas estações hidrometeorológicas ou em outras áreas de interesse para a rede, totalizando, portanto, 52 locais (Quadro 5.6).

Além dos poços da rede inicial e da rede de dedicação exclusiva, ainda farão parte do monitoramento uma rede flutuante que considerará as informações obtidas de usuários outorgados. Dos usuários serão exigidas como condicionantes da manutenção da outorga análises de qualidade da água anuais, além disso, para usuários de grandes captações, será solicitado o uso de hidrômetros para possibilitar o monitoramento da quantidade de água captada conforme detalhado anteriormente.

Com relação às subzonas de gerenciamento, os pontos de monitoramento propostos para inclusão na rede inicial de monitoramento do SAPP estão distribuídos conforme mostrados na Figura 5.5. Todas as subzonas foram contempladas com pelo menos um poço. O Quadro 5.5 apresenta a densidade de poços em cada subzona.

Quadro 5.5 – Densidade de poços por subzona de gerenciamento.

Subzona	Número de poços	Area (km²)	Densidade (poço/km²)
1	1	350,4	0,0029
2	2	455,4	0,0044
3	5	498,3	0,0100
4	1	220,4	0,0045
5	1	439,8	0,0023
6	1	1118	0,0009
7	1	220,7	0,0045
8	2	427,1	0,0047
9	3	60,2	0,0498
10	19	197,8	0,0961
11	5	445,5	0,0112
12	9	183,1	0,0492
13	1	243,2	0,0041
14	1	348,6	0,0029

Quadro 5.6 – Distribuição dos pontos escolhidos para a rede de monitoramento do SAPP por subzonas de gerenciamento.

Código Novo	Referência	Município	Subzona de Gerenciamento	Código Antigo	Nome/Referência Antiga	Aquífero	Rede	Origem
P-01	Fábrica de Reciclagem	Conde	12	PC1001	Fábrica de Reciclagem	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-02	Pavilhão do Chá	João Pessoa	10	PC1004	Pavilhão do Chá	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-03	Anatólia	João Pessoa	10	PC1005	Anatólia	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-04	Funcionários II	João Pessoa	12	PC1006	Funcionários II	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-05	Funcionários I	João Pessoa	12	PC1007	Funcionários I	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-06	Conjunto Mangabeira I	João Pessoa	10	PC1009	Conjunto Mangabeira I	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-07	Cristo	João Pessoa	10	PC1010	Cristo	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-08	Praia Formosa	Cabedelo	10	PC1011	Praia Formosa	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-09	Guruji Confinado	Conde	12	PC1012	Guruji Confinado	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-10	Guruji livre	Conde	12	PC1013	Guruji livre	Barreiras	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-11	Conjunto José Vieira Diniz	João Pessoa	12	PC2001	Conjunto José Vieira Diniz	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-12	Mangabeira II	João Pessoa	10	PC2002	Mangabeira II	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-13	Cidade Verde	João Pessoa	9	PC2003	Cidade Verde	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-14	de seu Zé Novo	Pedras de Fogo	11	P10	de seu Zé Novo	Barreiras	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-15	Poço da escola	Santa Rita	11	P15	Poço da escola	Barreiras	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-16	de Valentina	João Pessoa	12	P23	de Valentina	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-17	de seu Manoel Suica	Conde	12	P24	de seu Manoel Suica	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-18	de Dra. Nanci	João Pessoa	10	P27	de Dra. Nanci	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-19	Ary Guinchos	João Pessoa	12	P29	Ary Guinchos	Barreiras	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-20	Igreja do Bessa (GW1)	João Pessoa	10	P31	Igreja do Bessa (GW1)	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-21	ICMBio (GW3)	Cabedelo	10	P33	ICMBio (GW3)	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-22	SUDEMA (GW6)	João Pessoa	10	P36	SUDEMA (GW6)	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-23	Centro de Convenções (GW7)	João Pessoa	10	P37	Centro de Convenções (GW7)	Barreiras	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-24	R32 - CAGEPA (GW8)	João Pessoa	10	P38	R32 - CAGEPA (GW8)	Barreiras	Rede inicial	Poços de projetos anteriores

Código Novo	Referência	Município	Subzona de Gerenciamento	Código Antigo	Nome/Referência Antiga	Aquífero	Rede	Origem
P-25	ETE Mangabeira (GW9)	João Pessoa	10	P39	ETE Mangabeira (GW9)	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-26		Cabedelo	10	PX01		S/I	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-27		João Pessoa	10	PX02		Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-28	UFPB- Centro de tecnologia	João Pessoa	10	PZ08	UFPB- Centro de tecnologia	Confinado	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-29	UFPB- Centro de tecnologia	João Pessoa	10	PZ02	UFPB- Centro de tecnologia	Barreiras	Rede inicial	Poços de projetos anteriores
P-30	Ecoparque do aterro sanitário	Santa Rita	11	734006	JOÃO PESSOA/CEDRES	Beberibe	Rede inicial	Poços encontrados em campo, próximo à estação pluviométrica
P-31	Barragem Gramame	Alhandra	11	734040	CONDE/AÇ.GRAMAME MAMUABA	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços encontrados em campo, próximo à estação pluviométrica
P-32	Escola Santa Elisa	Pitimbu	13	734041	PITIMBU	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços encontrados em campo, próximo à estação pluviométrica
P-33	Ginásio Rafão	Cruz do Espírito Santo	7	735019	CRUZ DO ESPÍRITO SANTO	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços encontrados em campo, próximo à estação pluviométrica
P-34	Parque Ecológico Área Verde	Pedras de Fogo	11	735203	PEDRAS DE FOGO	Barreiras	Rede inicial	Poços encontrados em campo, próximo à estação pluviométrica
P-35	Escola Municipal Fazenda Socorro	Santa Rita	8	38895000	PONTE DA BATALHA	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços encontrados em campo, próximo à estação fluviométrica
P-36	Associação dos Pequenos Produtores de Engenho Santana	Cruz do Espírito Santo	6	38888000	ENGENHO SANTANA	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços encontrados em campo, próximo à estação fluviométrica
P-37	EMEF Professor Gibson Maul de Andrade	Santa Rita	8	-	-	Coberturas sedimentares	Rede inicial	Poços encontrados em campo
P-38	Sede da FUNAI	Baía da Traição	3	634000	BAÍA DA TRAIÇÃO	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-39	Associação dos Plantadores de Cana (ASPLAN)	Mamanguape	2	635117	MAMANGUAPE/ASPLAN	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-40	EMEF Antônia Luna Lisboa	Rio Tinto	3	635127	RIO TINTO	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-41	Fazenda do Sr. Ozório	Capim	3	635129	CAPIM	Barreiras	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica

Código Novo	Referência	Município	Subzona de Gerenciamento	Código Antigo	Nome/Referência Antiga	Aquífero	Rede	Origem
P-42	Prefeitura de Mamanguape	Mamanguape	3	635138	MAMANGUAPE	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-43	Fazenda do Sr. Armando José	Mataraca	2	635140	MATARACA	Barreiras	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-44	Estação de Tratamento Santa Rita	Santa Rita	9	734001	SANTA RITA	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-45	Ministério da Agricultura	Cabedelo	10	734002	JOÃO PESSOA/DFAARA	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-46	EMPAER	Alhandra	14	734008	ALHANDRA	Beberibe	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-47	Cagepa - Unidade Marés	João Pessoa	9	734037	JOÃO PESSOA/MARES	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-48	EMPAER	João Pessoa	10	734038	JOÃO PESSOA/MANGABEIRA	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação pluviométrica
P-49	Escola Municipal Sítio Pedra	Mamanguape	3	38790000	PONTE DO LEITÃO	Barreiras	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação fluviométrica
P-50	Fazenda Almas	Mataraca	1	38690000	FAZENDA ALMAS	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Próximo à estação fluviométrica
P-51	EMEF Professora Emília Gomes da Silva	Marcação	4	-	-	Barreiras	Rede de dedicação exclusiva	Novo ponto
P-52	Secretaria de Educação de Lucena	Lucena	5	-	-	Coberturas sedimentares	Rede de dedicação exclusiva	Novo ponto

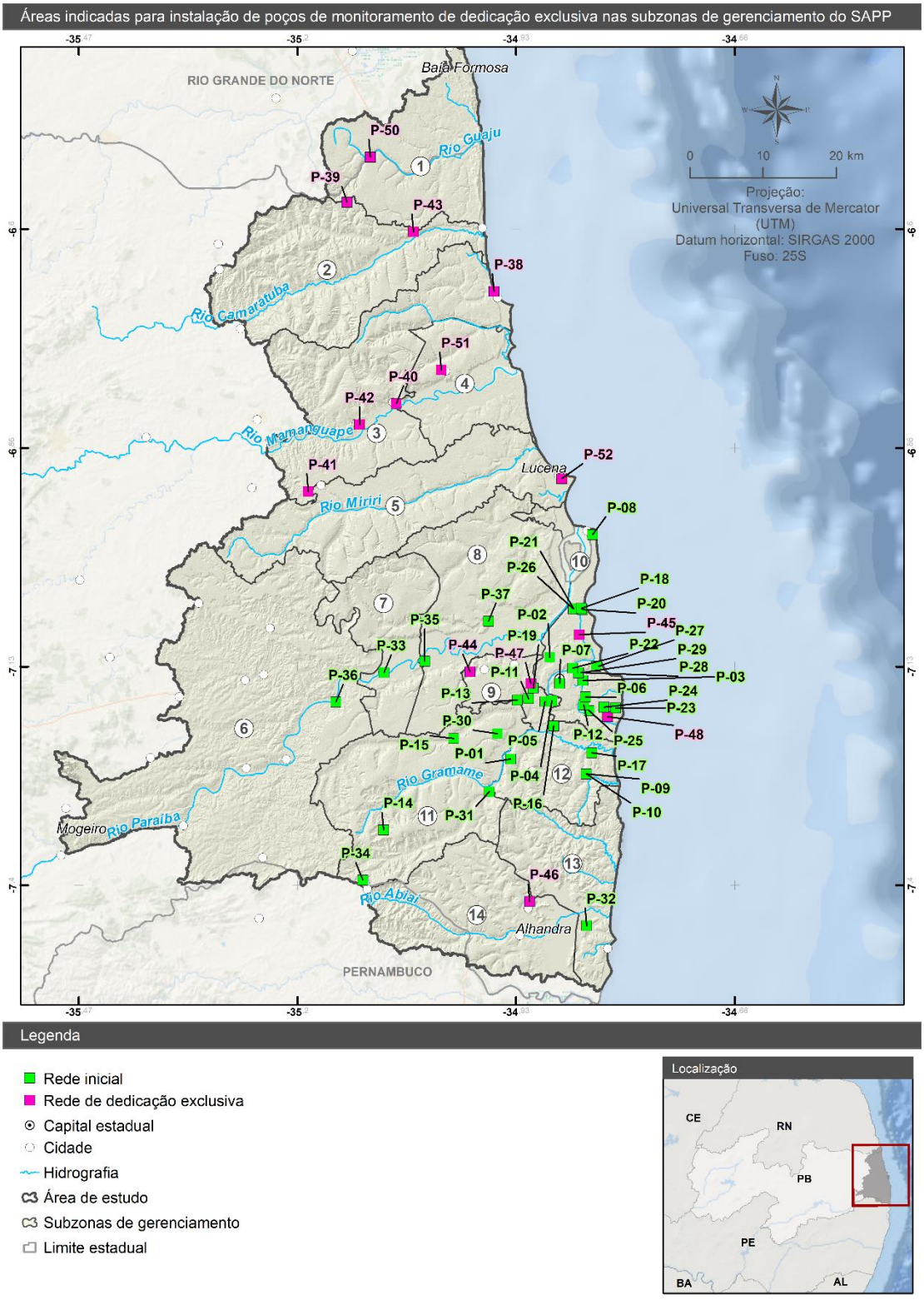


Figura 5.5 – Distribuição dos pontos de monitoramento quali-quantitativo propostos para o SAPP.

5.3.5 *Critérios para Priorização das Áreas de Monitoramento*

Com base nos levantamentos e estudos realizados, foram indicados 37 poços existentes e 15 locais a serem perfurados para instalação de poços de dedicação exclusiva para a implantação de uma rede de monitoramento quali-quantitativa nos domínios do SAPP, no Estado da Paraíba.

O processo de implementação da rede de monitoramento é dinâmico e requer ajustes de acordo com a intensificação da explotação dos recursos hídricos subterrâneos, ampliação do nível de estresse dos aquíferos e disponibilidade de recursos financeiros para criação, manutenção e operação da rede. O adensamento da rede com a inclusão progressiva de novos pontos de monitoramento é uma atividade ininterrupta, respaldada na análise dos resultados obtidos anteriormente. Em função dos altos custos operacionais e a relativa complexidade na estruturação e implantação de uma rede de monitoramento é recomendável que o programa seja instituído de forma gradual (MOURÃO, 2009).

A cronologia da implementação também deve seguir uma hierarquização de modo a estabelecer prioridades de acordo com critérios estabelecidos na fase de planejamento da rede. Os critérios de priorização adotados neste estudo incluíram o mapa de vulnerabilidade dos aquíferos, as fontes potenciais de contaminação e o mapa de intensidade de explotação, já apresentados e discutidos nos capítulos anteriores. O método de hierarquização das prioridades baseou-se na ordenação dos valores computados por geoprocessamento para cada um dos temas referidos, no contexto de cada zona de gerenciamento. Os valores obtidos em cada tema foram ordenados em ordem crescente de relevância, de 1 a 14, sendo 14 para a maior e 1 para a menor prioridade. Posteriormente, esses valores foram somados para cada zona de gerenciamento e os resultados foram ordenados do maior para o menor, em ordem decrescente de prioridade (Quadro 5.7).

Quadro 5.7 – Priorização das subzonas de gerenciamento para instalação de poços de monitoramento.

Subzonas de gerenciamento	Intensidade de explotação	Vulnerabilidade GOD	Fontes de contaminação	Prioridade	
8	12	12	10	34	Maior
10	14	3	14	31	
11	11	8	12	31	
5	9	13	7	29	
6	6	14	9	29	
12	13	2	13	28	
9	10	1	11	22	
13	8	6	8	22	
3	3	11	6	20	
14	7	7	5	19	
2	2	10	3	15	
1	1	9	2	12	
7	4	4	4	12	
4	5	5	1	11	Menor

De acordo com o Quadro 5.7, as subzonas de gerenciamento 8, 10 e 11 têm prioridade na instalação de poços de monitoramento para avaliação da quantidade e qualidade da água subterrânea do SAPP. Ressalta-se que as subzonas 9, 10, 11 e 12 já possuem poços instalados em projetos anteriores e que foram incluídos na rede ora proposta. A Figura 5.6 apresenta a espacialização das zonas prioritárias para instalação de poços na rede de monitoramento.

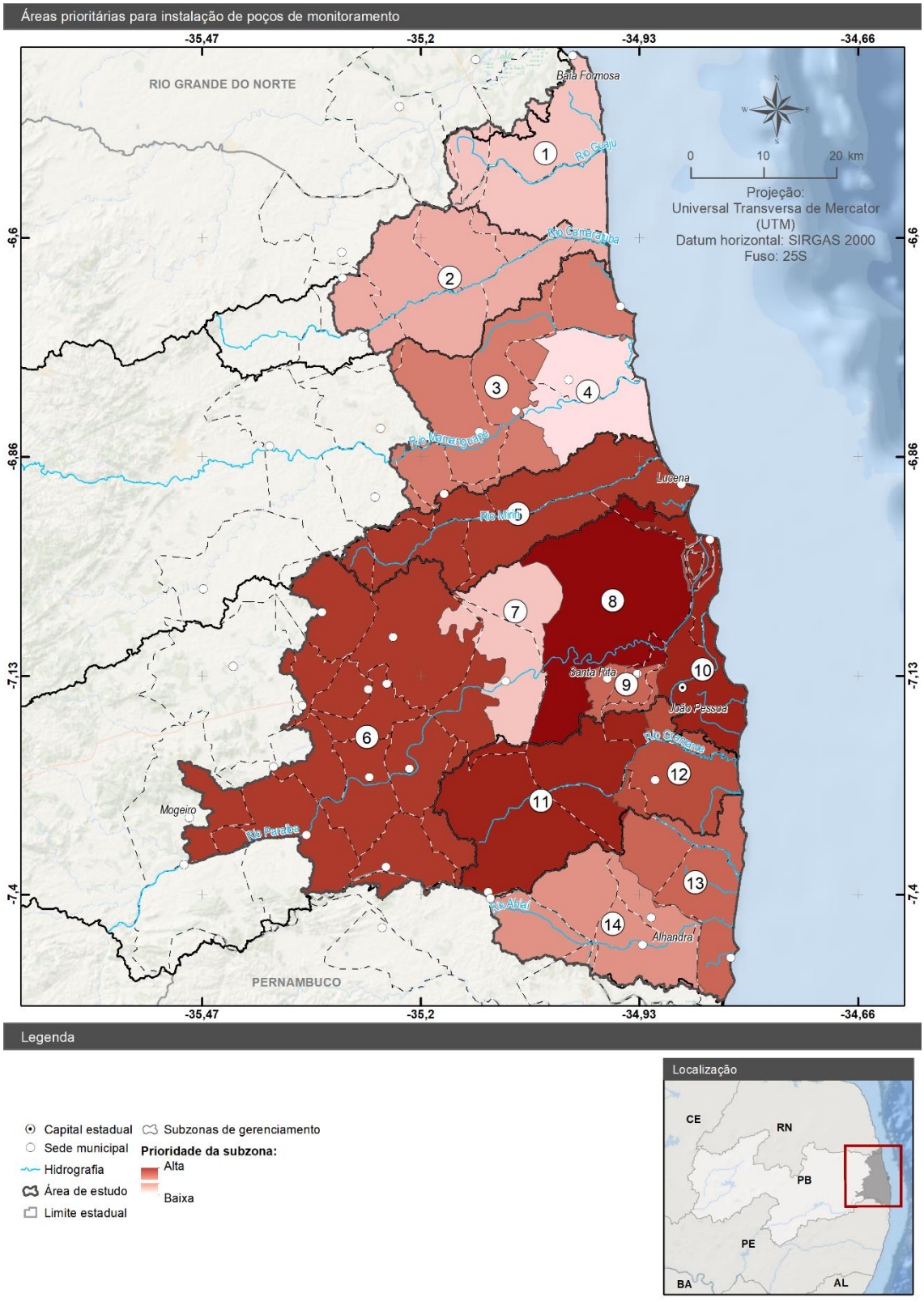


Figura 5.6 – Mapa das áreas prioritárias para instalação de poços de monitoramento no SAPP.

Dessa forma, é indicado que nas subzonas 8, 10 e 11 a implementação da rede deve iniciar com as adequações necessárias nos poços existentes e instalação dos

equipamentos de monitoramento. Em seguida deve-se partir para a subzona 5, onde o trabalho incluirá o projeto e perfuração de um novo poço para a rede. Assim por diante, todas as subzonas e os diferentes poços deverão ser incluídos, adicionando progressivamente novos pontos de monitoramento a rede, até que todos estejam implementados. A prioridade das subzonas e a diferenciação dos pontos das redes inicial e de dedicação exclusiva são apresentados no Quadro 5.8.

Quadro 5.8 – Prioridade por subzonas.

Subzona	Prioridade	Rede inicial	Rede de dedicação exclusiva	Total de pontos de monitoramento
1	12	-	1	1
2	11	-	2	2
3	9	-	5	5
4	14	-	1	1
5	4	-	1	1
6	5	1	-	1
7	13	1	-	1
8	1	2	-	2
9	7	1	2	3
10	2	17	2	19
11	3	5	-	5
12	6	9	-	9
13	8	1	-	1
14	10	-	1	1

5.4 METODOLOGIAS E EQUIPAMENTOS PARA O MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO

O presente item tem como objetivo a determinação dos parâmetros que serão medidos, os equipamentos que serão utilizados e o estabelecimento da periodicidade das coletas de amostras em cada poço da rede de monitoramento do SAPP.

Primeiramente são apresentados os métodos e equipamentos para o monitoramento dos níveis e posteriormente para o monitoramento dos parâmetros qualitativos. Na sequência é abordado um detalhamento sobre como os dados tanto quantitativos quanto qualitativos são armazenados, transmitidos, analisados e tratados.

5.4.1 *Monitoramento da Quantidade*

O monitoramento quantitativo é realizado por meio de registros sistemáticos e de longo prazo das variações nos níveis de água, medidos em poços específicos para esse propósito. O acompanhamento dos níveis em aquíferos freáticos fornece informações

sobre a recarga direta resultante de precipitações atmosféricas, bem como sobre as alterações no armazenamento subterrâneo e na descarga natural, elementos estes que contribuem significativamente para o escoamento nos corpos d'água superficiais.

A estimativa da recarga dos aquíferos livres, com base nas oscilações de nível de água da superfície freática, é feita pelo método conhecido como WTF (*water table fluctuation*). Este método, que requer um conjunto limitado de variáveis para sua aplicação, é amplamente adotado globalmente para este propósito (HEALY; COOK, 2002) e foi apresentado com detalhes no capítulo 4 deste estudo.

Em relação à aplicação do método WTF para estimativa da recarga, Carnier Neto e Chang (2008) destacam que a precisão dos resultados é diretamente influenciada pela porosidade efetiva do solo; portanto, variações nesse parâmetro podem impactar significativamente as conclusões obtidas. Isso ressalta a necessidade de se determinar com exatidão a porosidade efetiva para garantir a confiabilidade das estimativas. Além disso, esses autores enfatizam que as estimativas de recarga obtidas em um local específico não devem ser generalizadas para toda a extensão do aquífero, alertando para a importância de considerar a heterogeneidade geológica e hidrológica ao aplicar esses resultados em análises mais amplas.

O monitoramento dos níveis de água em aquíferos profundos, muitas vezes confinados ou semiconfinados, possibilita, sob condições específicas e com objetivos claros, a avaliação do equilíbrio entre a recarga natural e a extração por bombeamento, inclusive em zonas urbanas onde há interações complexas entre os poços. A observação das oscilações dos níveis de água de aquíferos profundos localizados em áreas urbanizadas é crucial para identificar áreas submetidas a uma exploração intensiva e que estão sendo depletadas, fornecendo dados valiosos para o planejamento de novas captações e a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

O monitoramento dos níveis de poços pode ser realizado pelo método convencional, que requer que um operador se desloque até o local do poço e proceda a medição ou pelo método automático que envolve o armazenamento e/ou a transmissão dos dados de forma automática.

O monitoramento automático de níveis de água foi escolhido para a rede de monitoramento do SAPP por ser um processo que envolve a coleta sistemática e contínua de dados sobre o nível estático da água em um local específico, possibilitando

que as estimativas de recarga sejam realizadas à luz do estado da arte neste quesito. Além disso, o método automático foi escolhido em detrimento ao método manual afim de evitar uma série de variáveis que podem afetar a precisão das medições, incluindo a sensibilidade do equipamento, alterações na superfície de referência, a competência do operador, erros de medição e transcrição, além do atraso na comunicação dos dados.

Ou seja, técnicas automáticas de monitoramento eliminam as variáveis humanas e técnicas anteriormente mencionadas, proporcionando uma coleta de dados mais precisa, eficiente e contínua, em contrapartida, o monitoramento automático de níveis exige maior planejamento e investimento inicial de recursos em detrimento ao convencional, além disso, precisam de locais adequados para sua instalação para não ficarem sujeitos a vandalismo, entretanto, são questões superáveis que rapidamente se convertem em vantagens com planejamento adequado e com o passar do tempo.

A implementação de um sistema de monitoramento automático de níveis é fundamental para entender o comportamento hidrológico das zonas de gerenciamento em resposta à utilização da água por parte dos usuários outorgados. O monitoramento de níveis estáticos permite detectar:

- Oscilações contínuas, correspondentes aos períodos de chuva e seca; oscilações irregulares, indicando mudanças no regime de bombeamento ou interferências de outros poços;
- Decaimento contínuo e progressivo do nível indicando uma extração maior que a capacidade de renovação do aquífero;
- Estabilidade do nível ou oscilação em torno de uma média constante, indicando que o volume que está sendo extraído é compensado pela recarga.

A coleta de dados de níveis de forma automática é realizada por meio de um conjunto de dispositivos tecnológicos, incluindo sensores e telemetria em tempo real, especialmente selecionados para essa finalidade. O dimensionamento dos sensores de nível é apresentado neste tópico e equipamentos de telemetria são apresentados no item 5.4.3.

Atualmente, existe uma ampla variedade de fabricantes no mercado que oferecem equipamentos automatizados para aquisição de dados de níveis, pressão de referência

ao nível do mar. Para a rede de monitoramento do SAPP foi escolhido o transdutor de pressão, também conhecido como sensor hidrostático.

Este dispositivo converte a pressão hidrostática em um sinal elétrico analógico (4 a 20mA). Quando a pressão hidrostática atua sobre o diafragma do transdutor, ocorre uma deflexão que resulta em uma alteração proporcional na resistência elétrica (Figura 5.7). Essa variação é então registrada e convertida em uma medida de altura de coluna de água.

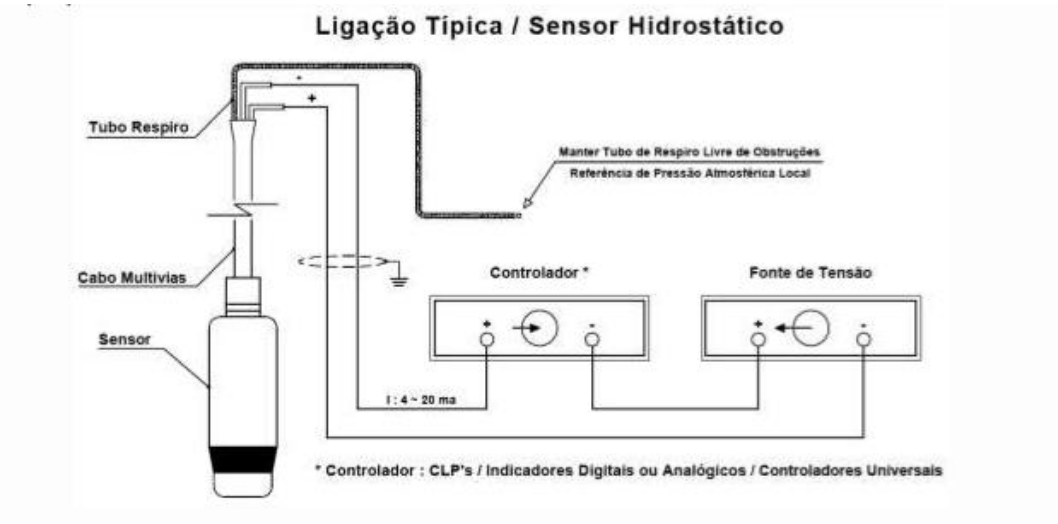


Figura 5.7 – Ligação Típica / Sensor Hidrostático.

Fonte: https://www.engelogic.com.br/download/sensores-nivel.pdf

Os sensores hidrostáticos são selecionados com base na profundidade em que serão instalados no poço e na amplitude de variação de nível de água a que serão submetidos. A precisão desses sensores pode variar de 0,5%, 0,25% a 0,1%, sendo que quanto maior a amplitude de pressão, menor é a precisão da medida, para os poços do SAPP, como a variação amplitude de nível é baixa (menor que 50m) pois o monitoramento é de níveis estáticos, a precisão escolhida para todos os poços foi de 0,1%. Como o sensor hidrostático mede a variação da coluna da água ele já contempla as variações na pressão atmosférica.

O Quadro 5.9 apresenta as especificações dos sensores de nível. No Anexo XV – Fichas dos Poços são apresentadas essas especificações com as variações específicas de acordo com as características de cada poço.

Quadro 5.9 – Especificações do transdutor de pressão (sensor de nível).

Sensor de nível	
Material invólucro da sonda	Aço inox aisi 310
Material do Eletrodo	Aço inox 310
Material cabo	PVC ou Poliuretano
Rangeabilidade:	5 MCA a 500 MCA
Invólucros	Inox ou alumínio com acabamento em poliéster
Grau de Proteção IP	IP 68
Saídas	4a20mA 2 fios ou 1/5, 0/5, 0/10 3fios
Polaridade	Proteção total contra inversão de polaridade
Comunicação	Modbus RTU (Opcional)
Alimentação	10 a 30 Vcc
Variáveis do processo	
Fluídos	Água potável, Água bruta, Água de irrigação, esgoto
Precisão	0,5%, 0,25% ou 0,1%

Considerando-se que os sensores hidrostáticos são dispositivos eletrônicos programáveis, a frequência das medições pode ser estabelecida a intervalos curtos de tempo, de modo a registrar variações rápidas de nível de água.

Para poços preparados com o objetivo de monitorar as variações naturais de nível, associadas aos efeitos de recarga, a frequência das medidas pode ser programada para intervalos de uma hora. Essa frequência permite registrar os ciclos de maré terrestre que ocorrem duas vezes ao dia e, a despeito da pequena variação produzida em aquífero livres, constitui importante informação adicional que pode auxiliar na interpretação dos resultados.

Nas fichas técnicas de cada poço a ser integrado à rede de monitoramento (Anexo XV), está definida a frequência das medições.

5.4.2 *Monitoramento da Qualidade*

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas tem por objetivos:

- Caracterizar a qualidade natural das águas dos diversos aquíferos;
- Estabelecer Valores de Referência de Qualidade – VRQ para cada substância de interesse, por sistema aquífero;
- Avaliar as tendências das concentrações das substâncias monitoradas;
- Identificar áreas com alterações de qualidade;

- Subsidiar ações de prevenção e controle da poluição do solo e da água subterrânea;
- Subsidiar ações de gestão da qualidade do recurso hídrico subterrâneo;
- Subsidiar a classificação dos aquíferos, visando seu enquadramento de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008.

5.4.2.1 Método Automático

Para monitoramento automático de parâmetros de qualidade da água, foram escolhidas sondas individuais em detrimento às multiparamétricas por oferecerem uma série de vantagens. A utilização de sensores independentes permite a seleção de equipamentos com tecnologia de ponta, tirando o máximo proveito das diferentes vantagens técnicas que cada fabricante pode oferecer, além de apresentar um custo de aquisição mais baixo.

Outro ponto positivo é a simplicidade na manutenção e calibração, já que cada sonda individual é projetada para medir um único parâmetro, o que facilita o processo e diminui tanto os custos de manutenção quanto o tempo gasto com ajustes. Em caso de falha, as sondas individuais também oferecem maior redundância, permitindo que, se uma sonda parar de funcionar, as demais continuem operando, garantindo a continuidade das medições. Por fim, a substituição de sensores em sondas individuais é mais fácil e rápida, o que minimiza o tempo de inatividade e a interrupção das atividades.

Sendo assim, para a rede de monitoramento de águas subterrâneas do SAPP, fica projetada a utilização de dois sensores independentes para monitoramento da qualidade por poço, que devem medir: temperatura e condutividade elétrica uma vez por dia. Sensores de qualidade da água que podem medir outros parâmetros são onerosos demais e não compensa sua instalação uma vez que podem ser medidos manualmente. As especificações dos equipamentos estão descritas no Quadro 5.10. No Anexo XV, são detalhadas as especificações dos equipamentos para cada poço.

Quadro 5.10 – Especificações dos sensores de monitoramento automático da qualidade.

Sensor de condutividade	
Faixa de medição	150-2.000.000 uS/cm
Material do corpo	Noryl
Temperatura máxima	-25°C a 80°C
Pressão máxima:	150 psig
Compensação de temperatura	Pt 1000 RTD
Comprimento do cabo	4 condutores no padrão 6 metros, comprimento personalizado sob medida.
Conexão de processo	¾'' MNPT
Tempo de resposta	10 seg para alteração 95%
Comunicação	4…20mA / Modbus RTU (Opcional)
Resolução de condutividade 0,2-2000 us/cm 2,000-100,000 uS/cm >100,000 uS/cm	 0.2uS 2 uS 20 uS
Precisão condutividade:	+/-5uS ou 2% da leitura, o que for maior resolução
Resolução temperatura	0.05°C
Precisão da temperatura	0.5°C tipica 1.0°C max.
Precisão da corrente de Loop	32 uA
Fonte de energia Modo 4-20mA Modo Modbus	 23-36 VDC 7- 36 VDC
Sensor de temperatura	
Tipo	Pt 100
Cabeçote	Alumínio fundido
Haste	Aço inox
Bulbo da resistência	Platina 100 Ohms a 0°C
Grau de proteção	IP 65
Faixa de medição	-200°C … 962°C
Resistência de isolação mínima	100m Ohms
Classe de tolerância	A
Condutores	3 fios
Capacidade de corrente a 100 Ohms	0,3 … 1mA
Tempo de resposta	Temperatura ambiente à 150°C - aproximadamente 3 min
Nível de isolamento	Faixa A
Tensão	1000V/min

5.4.2.2 Método Manual

O método de coleta manual será utilizado na rede para aqueles parâmetros que não podem ou que são muito onerosos de serem medidos de forma automática. Dessa forma, serão monitorados com uma frequência pré-estabelecida.

5.4.2.2.1 Coleta de amostras para análises hidroquímicas

O Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos (CETESB-ANA, 2011) fornece instruções detalhadas sobre os procedimentos para coleta e preservação de amostras de água subterrânea. Este guia é uma ferramenta essencial para o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), que envolve várias instituições, como os órgãos estaduais de recursos hídricos e meio ambiente, as companhias de saneamento e as concessionárias de empreendimentos hidrelétricos. O PNQA tem como objetivo monitorar e garantir a qualidade das águas, desempenhando um papel fundamental na gestão ambiental e na proteção dos recursos hídricos.

Os procedimentos quanto à limpeza e preparo dos recipientes utilizados para o armazenamento de amostras, técnicas de preservação para cada parâmetro amostrado, tipo de recipiente, volume de amostra necessário, tipo de preservação recomendada e prazo para realização dos ensaios físico-químicos, microbiológicos, biológicos e toxicológicos são descritos no Guia Nacional.

Técnicos de laboratórios credenciados ou certificados, treinados e capacitados nas técnicas específicas de amostragem, preservação de amostras, medidas de segurança, manuseio de equipamentos e medição dos resultados em campo são responsáveis pela coleta de amostras de água. Como norma geral de coleta, o Guia Nacional recomenda:

- Verificar a limpeza dos frascos e dos demais materiais e equipamentos que serão utilizados para coleta (baldes, garrafas, pipetas etc.);
- Verificar se os frascos e reagentes utilizados para preservação das amostras estão adequados e dentro do prazo de validade para uso. Em caso de dúvida, substituí-los;
- Certificar-se que a parte interna dos frascos, assim como as tampas e batoques, não sejam tocadas com a mão ou fiquem expostas ao pó, fumaça e outras

impurezas (gasolina, óleo e fumaça de exaustão de veículos podem ser grandes fontes de contaminação de amostras);

- Cinzas e fumaça de cigarro podem contaminar as amostras com metais pesados e fosfatos, entre outras substâncias. É importante, portanto, que os técnicos responsáveis pela coleta de amostras não fumem durante a coleta e utilizem uniformes e EPIs – Equipamentos de Proteção Individual adequados para cada tipo de amostragem (avental, luva cirúrgica ou de borracha de látex, óculos de proteção, entre outros), sempre observando e obedecendo às orientações de cada local ou ambiente onde será realizada a amostragem;

- Fazer a ambientação dos equipamentos de coleta com água do próprio local;

- Garantir que as amostras líquidas não contenham partículas grandes, detritos, folhas ou outro tipo de material acidental durante a coleta;

- Coletar um volume suficiente de amostra para eventual necessidade de se repetir algum ensaio no laboratório;

- Fazer todas as determinações de campo em alíquotas de amostra separadas das que serão enviadas ao laboratório, evitando-se assim o risco de contaminação;

- Colocar as amostras ao abrigo da luz solar, imediatamente após a coleta e preservação;

- Acondicionar em caixas térmicas com gelo as amostras que exigem refrigeração para sua preservação;

- Manter registro de todas as informações de campo, preenchendo uma ficha de coleta por amostra ou conjunto de amostras da mesma característica, contendo os seguintes dados: nome do programa de amostragem e do coordenador, com telefone para contato; nome dos técnicos responsáveis pela coleta; número de identificação da amostra; identificação do ponto de amostragem com código do ponto, endereço, coordenadas georreferenciadas, etc.; data e hora da coleta; natureza da amostra (água bruta de poço raso ou poço profundo); tipo de amostra (simples, composta ou integrada); medidas de campo (temperatura do ar e da água, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, transparência, coloração

visual, vazão, etc.); eventuais observações de campo; condições meteorológicas nas últimas 24 horas que possam interferir com a qualidade da água (chuvas); indicação dos parâmetros a serem analisados nos laboratórios envolvidos; características do equipamento utilizado para coleta.

A coleta de água em poços equipados e em operação requer um período adequado para eliminar a água estagnada na tubulação. As amostras de água são coletadas diretamente das torneiras localizadas no cavalete de saída do poço, antes de qualquer processo de tratamento, como fluoretação, cloração e outros, garantindo assim a precisão dos resultados das análises. Quando necessário, a torneira pode ser desinfetada com uma solução de hipoclorito de sódio com concentração de 100 mg/L, sendo crucial remover o excesso da solução antes da coleta da amostra.

Nas captações não equipadas com bomba submersa, uma quantidade de água correspondente ao volume estagnado no interior do poço deve ser removida com auxílio de uma bomba tipo "*Low Flow*" (baixa vazão), antes da coleta, de modo a assegurar que a amostra de água seja representativa do aquífero avaliado.

A amostragem em baixa vazão impede a perda de voláteis e a oxidação das substâncias químicas contidas na água do poço. Também é importante medir, sempre que possível, o nível estático dos poços antes e depois da amostragem de água.

O transporte das amostras coletadas deve ser realizado sob refrigeração, assim como a etapa de armazenamento até o momento de ensaio, conforme especificado pelo Guia Nacional (CETESB-ANA, 2011). Nesse sentido, é de suma importância o preenchimento da cadeia de custódia, que determina os procedimentos documentais para rastreamento e integridade das amostras, desde o ponto de coleta até o laboratório e emissão do laudo.

5.4.2.2.2 Parâmetros de monitoramento e frequência de amostragem

A definição dos parâmetros de monitoramento da qualidade no Sistema Aquífero do Estado da Paraíba (SAPP) requer um conhecimento detalhado das características hidroquímicas naturais das águas subterrâneas. Os estudos hidroquímicos existentes na área do SAPP, como os de Medeiros *et al.* (2021), Coutinho *et al.* (2013), Targino *et al.* (2012) e Costa *et al.* (2007), embora sejam valiosos, têm algumas limitações.

Estes estudos avaliaram a qualidade da água subterrânea com base em um número reduzido de parâmetros e de amostras, que não representam adequadamente as características hidroquímicas em toda a extensão do aquífero.

Para aprimorar a definição dos parâmetros de monitoramento, é fundamental realizar estudos mais abrangentes e representativos, que abarquem uma variedade maior de parâmetros hidroquímicos e uma amostragem mais extensa e distribuída por toda a área do SAPP. Essa abordagem permite uma compreensão mais completa das características hidroquímicas das águas subterrâneas, possibilitando uma definição mais precisa dos parâmetros mínimos de monitoramento necessários para garantir a qualidade e a sustentabilidade do recurso hídrico no Estado da Paraíba.

Sugere-se num primeiro momento a análise dos parâmetros listados no Quadro 5.11, Quadro 5.12, Quadro 5.13, Quadro 5.14 e Quadro 5.15. Observa-se que a maioria desses parâmetros estão incluídos na Portaria 888/GMS, que estabelece os padrões de qualidade da água para consumo humano.

Quadro 5.11 – Parâmetros químicos de monitoramento.

Parâmetros químicos	Portaria	Parâmetros químicos	Portaria	Parâmetros químicos	Portaria
Alcal. carbonato		DQO		Potássio	
Alumínio	888/GMS	Dureza total	888/GMS	Rádio-226	
Antimônio	888/GMS	Estrôncio		Rádio-228	
Arsênio	888/GMS	Ferro	888/GMS	Selênio	888/GMS
Bário	888/GMS	Fluoreto	888/GMS	Silício	
Berilo		Fósforo		Sódio	888/GMS
Bicarbonato		Lítio		Sólidos dissolvidos a 180ºC	
Boro		Magnésio		STD (campo)	888/GMS
Cádmio	888/GMS	Manganês	888/GMS	Sulfato	888/GMS
Cálcio		Mercúrio	888/GMS	Sulfeto	
Carbonato		Molibdênio		Sulfeto de hidrogênio	888/GMS
Chumbo	888/GMS	Níquel	888/GMS	Urânio	888/GMS
Cloreto	888/GMS	Nitrato	888/GMS	Vanádio	
Cobre	888/GMS	Nitrito	888/GMS	Zinco	888/GMS
Cromo	888/GMS	Nitrogênio amoniacal		Amônia	888/GMS

Quadro 5.12 – Parâmetros físico-químicos de monitoramento.

Parâmetros físico-químicos	
Condutividade elétrica - laboratório	pH (campo)
Condutividade elétrica (campo)	pH laboratório
Cor	Temperatura (campo)
Eh (campo)	Turbidez

Quadro 5.13 – Parâmetros microbiológicos de monitoramento.

Microbiológico	Portaria	Microbiológico	Portaria
Coliformes termotolerantes	888/GMS	Microcistinas	888/GMS
Coliformes totais	888/GMS	Saxitoxinas	888/GMS

Quadro 5.14 – Parâmetros orgânicos de monitoramento.

Orgânicos	Portaria	Orgânicos	Portaria	Orgânicos	Portaria
1,2 Diclorobenzeno	888/GMS	Cloraminas Total	888/GMS	Monoclorobenzeno	888/GMS
1,2 Dicloroetano	888/GMS	Clorato	888/GMS	N-nitrosodimetilamina	888/GMS
1,4 diclorobenzeno	888/GMS	Cloreto de Vinila	888/GMS	Pentaclorofenol	888/GMS
2,4,6 Triclorofenol	888/GMS	Clorito	888/GMS	Tetracloreto de Carbono	888/GMS
2,4-diclorofenol	888/GMS	Di(2-etilhexil) ftalato	888/GMS	Tetracloroeteno	888/GMS
Ácidos haloacéticos total	888/GMS	Diclorometano	888/GMS	Tolueno	888/GMS
Acrilamida	888/GMS	Dioxano	888/GMS	Tricloroeteno	888/GMS
Benzeno	888/GMS	Epicloridrina	888/GMS	Trihalometanos Total	888/GMS
Benzo[a]pireno	888/GMS	Etilbenzeno	888/GMS	Xilenos	888/GMS
Bromato	888/GMS				

Quadro 5.15 – Parâmetros agroquímicos de monitoramento.

Agrotóxicos	Portaria	Agrotóxicos	Portaria	Agrotóxicos	Portaria
2,4 D + 2,4,5 T	888/GMS	Dimetoato + ometoato	888/GMS	Molinato	888/GMS
Alacloro	888/GMS	Diuron	888/GMS	Paraquate	888/GMS
Aldicarbe + Aldicarbesulfona +Aldicarbesulfóxido	888/GMS	Epoxiconazol	888/GMS	Picloram	888/GMS
Aldrin + Dieldrin	888/GMS	Fipronil	888/GMS	Profenofós	888/GMS
Ametrina	888/GMS	Flutriafol	888/GMS	Propargito	888/GMS
Atrazina + S-Clorotriazinas (Deetil-Atrazina - Dea, Deisopropil-Atrazina - Dia e Diaminoclorotriazina -Dact	888/GMS	Glifosato + AMPA	888/GMS	Protioconazol + ProticonazolDestio	888/GMS
Carbendazim	888/GMS	Hidroxi-Atrazina	888/GMS	Simazina	888/GMS
Carbofurano	888/GMS	Lindano (gama HCH)	888/GMS	Tebuconazol	888/GMS
Ciproconazol	888/GMS	Malationa	888/GMS	Terbufós	888/GMS
Clordano	888/GMS	Mancozebe + ETU	888/GMS	Tiametoxam	888/GMS
Clorotalonil	888/GMS	Metamidofós + Acefato	888/GMS	Tiodicarbe	888/GMS
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	888/GMS	Metolacloro	888/GMS	Tiram	888/GMS
DDT+DDD+DDE	888/GMS	Metribuzim	888/GMS	Trifluralina	888/GMS
Difenoconazol	888/GMS				

Os parâmetros químicos e físico-químicos (Quadro 5.11 e Quadro 5.12) desempenham um papel crucial na definição e caracterização da qualidade natural das águas subterrâneas. Além disso, eles são essenciais para compreender os processos hidrológicos e as interações complexas entre as águas subterrâneas e outros componentes ambientais, como os ecossistemas e as águas superficiais. Por meio da análise desses parâmetros, é possível não apenas avaliar a qualidade intrínseca da água, mas também detectar a presença e a extensão de eventual contaminação das águas. Essa detecção precoce permite a implementação imediata de medidas de mitigação e controle, contribuindo assim para a proteção dos recursos hídricos e a preservação da saúde pública e do meio ambiente.

Os parâmetros microbiológicos são essenciais para o monitoramento de águas subterrâneas, pois fornecem informações valiosas sobre a qualidade bacteriológica da água (Quadro 5.13). Os resultados do monitoramento microbiológico são frequentemente comparados com padrões regulatórios ou diretrizes de qualidade da água para determinar se a água é segura para consumo humano ou outros usos específicos. É importante notar que as contaminações microbiológicas em poços de água subterrânea geralmente são causadas pela infiltração de águas poluídas, muitas vezes devido à ausência de laje e de cimentação de proteção adequadas. Essas medidas de proteção são fundamentais para evitar a contaminação e garantir a qualidade da água subterrânea para uso humano e ambiental.

Os contaminantes orgânicos e agroquímicos encontrados na água subterrânea podem ter diversas fontes, sendo os mais comuns aqueles listados no Quadro 5.14 e no Quadro 5.15. Esses contaminantes têm origem principalmente em resíduos de atividades industriais que contêm produtos químicos orgânicos, como solventes, hidrocarbonetos e compostos clorados. Além disso, o uso de herbicidas, pesticidas e fertilizantes na agricultura também é uma fonte significativa desses contaminantes, os quais podem eventualmente atingir as águas subterrâneas.

5.4.2.2.3 Frequência de amostragem das águas subterrâneas

A frequência recomendada para coleta e análise visando o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas é semestral. No entanto, caso haja indicações de alterações na qualidade, é necessário aumentar a frequência das análises. Variações sazonais nas características da água devem ser investigadas durante a fase de planejamento da rede, a fim de determinar se essas variações são de origem natural ou resultam de contaminações. Essa abordagem proativa garante uma compreensão mais abrangente da qualidade da água

subterrânea e permite a implementação de medidas adequadas para garantir sua conservação.

5.4.2.2.4 Padrões de qualidade das águas subterrâneas

A água subterrânea para consumo humano deve atender aos parâmetros definidos na Portaria GM/MS nº 888/2021 e Resolução CONAMA 396, que dispõem sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

As análises laboratoriais para controle da qualidade da água para consumo humano podem ser realizadas em laboratórios que comprovem a existência de boas práticas e biossegurança, conforme normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária e demais normas relacionadas, e existência de sistema de gestão da qualidade, conforme os requisitos especificados na NBR ISO/IEC 17025.

5.4.2.2.5 Controle da qualidade dos ensaios

No que diz respeito ao controle da qualidade dos ensaios, é fundamental que os resultados dos laudos analíticos físico-químicos, químicos e biológicos sejam aceitos somente se emitidos por laboratórios acreditados pela CGCRE – Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia ou por alguma rede metrológica estadual que seja integrante do Fórum de Redes Estaduais e que possua um sistema reconhecido para avaliação da competência de laboratórios. Além disso, análises de consistência, incluindo o balanço iônico e métodos recomendados para validação dos resultados, são essenciais para garantir a obtenção de resultados confiáveis e precisos. Esse rigoroso controle da qualidade assegura a confiabilidade dos dados analíticos e a credibilidade das informações fornecidas para avaliação da qualidade da água.

5.4.3 *Aquisição e transmissão dos dados*

A telemetria envolve a medição e transmissão de dados de locais remotos para centros de análise e controle. No contexto da rede de monitoramento do SAPP, foi escolhido um sistema de aquisição de dados baseado em Unidades Terminais Remotas (UTR), que recebem as informações dos sensores via cabo. Essas UTRs são responsáveis por enviar os dados através da tecnologia GPRS[3] para a nuvem, onde podem ser armazenados e processados utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT). A Figura 5.8 ilustra como os dados são coletados e transmitidos.

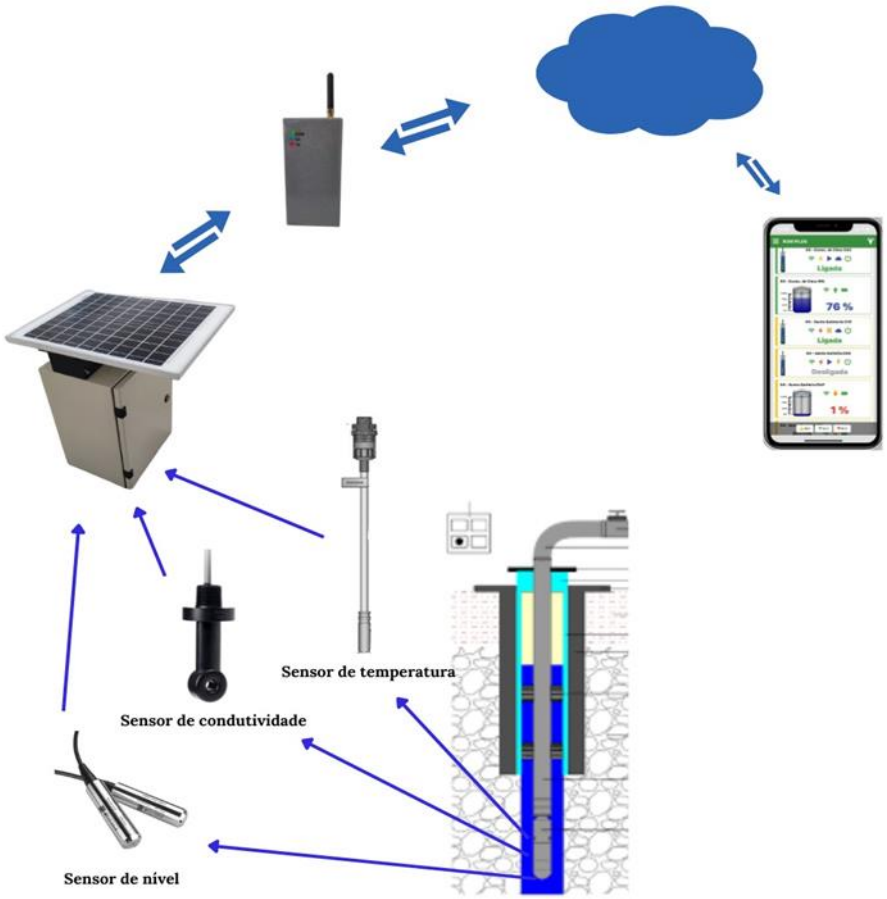


Figura 5.8 – Aquisição transmissão e análise de dados em poços de monitoramento.

Fonte: Dakron Automação e Comércio de peças Ltda.

[3] GPRS (General Packet Radio Service) é uma tecnologia de comunicação sem fio usada para transmitir dados em redes de telefonia móvel, especificamente em redes 2G e 3G. Ela permite o envio e recebimento de dados em pacotes, de forma eficiente, sobre a infraestrutura existente de comunicação de voz das operadoras de celular.

A coleta de dados é feita pela integração dos sensores de medição previamente descritos com os dispositivos da UTR, que será alimentada por energia fotovoltaica. Esse conjunto oferece uma solução completa para o monitoramento em tempo real dos poços, coletando dados precisos sobre níveis de água, temperatura e condutividade por meio de sensores avançados e conectividade MQTT[4]. Essas informações são então transmitidas para um software, onde são processadas e visualizadas em gráficos intuitivos, acessíveis via web e aplicativo. A tecnologia M2M[5] utilizada garante uma conectividade eficiente e rápida, com suporte a múltiplas operadoras, permitindo que o usuário acompanhe as condições dos poços em tempo real e tome decisões com base nos dados fornecidos.

A UTR utilizada nesse sistema é projetada para se comunicar com os sensores por meio de GPRS, garantindo a conexão à Internet e a transmissão dos dados para a rede do SAPP. As especificações detalhadas do equipamento estão descritas no Quadro 5.16, e o Anexo XV traz informações técnicas adicionais sobre a UTR escolhida para cada poço. Este equipamento inclui entradas digitais e analógicas, interfaces de comunicação RS485 e protocolos de comunicação como MODBUS e MQTT.

Quadro 5.16 – Especificações da UTR.

Modem	
Aplicação	Acionamento e monitoramentos remotos
Típicas	Monitoramento de grandezas e acionamentos remotos.
Configuração	Velocidade 9600
Serial USB	Paridade 8N1
Configuração	Velocidade 9600
RS 485	Paridade 8N1
Entradas digitais	08 NPN
Saídas digitais	04 NPN
Entradas analógicas	02 (4 a 20 mA)
Saídas analógicas	02 (0 a 5V)
Comunicação serial	USB
Comunicação 485	RS485
Frequência	915MHz a 928 MHz
Antena	Conector SMA Protocolos Modbus RTU, R3MRF, MQTT
Dimensões	4,0 x 6,8 13,8 cm
Peso	250 gramas

No contexto da transmissão de dados de monitoramento, o uso da IoT permite a interconexão automatizada dos dispositivos e sensores, facilitando o acompanhamento remoto de

4 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação que permite a troca de mensagens entre dispositivos na Internet das Coisas (IoT). Ele é baseado no modelo de comunicação Publicador-Subscritor, que é simples e leve. O MQTT é um protocolo de código aberto, otimizado para redes TCP/IP e para baixa latência.

5 M2M é o tipo de conectividade via chip (GPRS), ou seja, o chip que pode ser de qualquer operadora disponível no local da instalação (vivo, claro, Tim, oi, Algar telecom) conecta e navega na internet (nuvem) levando e trazendo os dados

parâmetros como temperatura, pressão, umidade e qualidade da água sem a necessidade de intervenção humana direta. A principal vantagem dessa tecnologia é a centralização dos dados em plataformas digitais, acessíveis de qualquer lugar e a qualquer momento, além de permitir análises automatizadas e alertas em tempo real. Isso aumenta a precisão e eficiência no monitoramento e na gestão das operações.

5.4.4 *Análise e Tratamento dos Dados*

Conforme apontado por Mourão (2009), é essencial que as informações provenientes do monitoramento dos níveis e da qualidade da água subterrânea sejam submetidas a uma análise estatística detalhada e tratadas de maneira a serem apresentadas aos diversos usuários de forma clara, interativa e com o auxílio de recursos gráficos. O objetivo dessa análise e tratamento é converter os dados brutos obtidos durante o monitoramento em informações significativas e aplicáveis tanto para os usuários quanto para embasar as decisões gerenciais. Esse processo de análise estatística não apenas permite uma compreensão mais profunda dos padrões e tendências nos níveis de água subterrânea, mas também facilita a comunicação efetiva dos resultados, garantindo que as informações sejam compreendidas e utilizadas de maneira adequada.

Os dados brutos das séries temporais de registro de níveis em poços de monitoramento podem estar sujeitos a uma variedade de problemas originados por eventos naturais ou falhas na instrumentação, como aponta Carnier Neto (2006). Dentre os problemas destacados pelo autor, estão:

- Dados perdidos ou *gaps* de leitura que ocorrem quando a informação não consegue ser registrada por motivo de comunicação entre os instrumentos de medição e o computador, falta de energia, falha de escrita no disco e travamento do programa; neste caso, uma das soluções é a interpolação de dados;

- Problemas de *offset*, que ocorrem por problemas de calibração ou movimentação do transdutor dentro do poço (deliberadamente para evitar que fique acima do nível de água, ou por má fixação, ou ainda por retirada para manutenção ou coleta de amostra hidroquímica, dentre outras); a solução, neste caso, pode ser a correção por subtração ou adição, dos níveis monitorados;

- Problemas com alteração de horários, como por exemplo, mudança para o horário de verão; pequenas alterações nos intervalos de aquisição também podem ocorrer devido ao próprio *hardware* do relógio do computador;

- Erros de transcrição em medições manuais.

Para facilitar a manipulação dos dados, são realizadas filtragens (ou reamostragens) para intervalos de tempo maiores, o que reduz o tamanho do arquivo original e o tempo de processamento, conforme destacado por Carnier Neto (2006). As análises matemáticas são conduzidas com o auxílio de *softwares* específicos, os quais oferecem ferramentas para calcular a Transformada Rápida de Fourier, aplicar filtros, realizar análises de correlação, entre outras funcionalidades. Essas operações tornam a análise e apresentação dos dados mais acessíveis, especialmente por meio de representações gráficas.

No contexto das análises hidroquímicas, os resultados são minuciosamente examinados com o intuito de avaliar as concentrações das substâncias presentes nas águas subterrâneas. Além disso, busca-se identificar os diferentes tipos hidroquímicos encontrados nos aquíferos, simular possíveis processos geoquímicos associados à variação composicional da água e avaliar sua interação com o arcabouço geológico subjacente. Durante esse processo analítico, os parâmetros medidos são descritos estatisticamente para cada aquífero, levando em consideração valores mínimos, máximos, médios, medianos e desvio padrão. Também são aplicados testes estatísticos para verificar se os resultados se distribuem de maneira normal ou não, de modo a auxiliar na compreensão dos processos geoquímicos envolvidos na composição química da água.

A representatividade das análises químicas é determinada pelo equilíbrio entre as cargas negativas e positivas presentes na água, sendo que discrepâncias superiores a 20% exigem uma investigação mais detalhada para determinar se podem ser atribuídas à baixa concentração iônica, à precipitação de substâncias antes das análises ou à omissão de algumas substâncias entre os parâmetros analisados. Essa abordagem rigorosa é fundamental para assegurar a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos nas análises químicas, garantindo uma avaliação precisa da qualidade da água subterrânea.

O equilíbrio entre as cargas negativas e positivas na água subterrânea, muitas vezes referido como equilíbrio iônico, é de fato um fator importante a considerar na análise química desse tipo de água. No entanto, a representatividade das análises químicas na água subterrânea é determinada por uma variedade de fatores além do equilíbrio iônico.

A composição química da água subterrânea envolve uma variedade de íons, como cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, sulfato e cloreto, sendo essencial que as análises químicas sejam representativas, detectando e quantificando essas espécies. As variações temporais e espaciais, decorrentes de fatores como recarga sazonal e geologia local, devem ser consideradas ao interpretar os resultados. Contaminantes e outras espécies químicas podem interferir nas análises, exigindo identificação e mitigação para garantir precisão. A escolha de técnicas analíticas adequadas e a correta amostragem, com locais representativos e procedimentos de preservação, são cruciais para assegurar a qualidade das análises. É recomendado que a coleta local da amostra seja enviada e realizada em laboratório.

Amplamente empregada em estudos hidroquímicos (ANA, 2017b), a estatística multivariada desempenha um papel crucial na determinação da existência de amostras que podem ser agrupadas com base em sua similaridade hidroquímica, utilizando o método de análise de *clusters*. Isso permite uma avaliação abrangente da correlação entre os diferentes parâmetros analisados, buscando identificar indícios de mistura de águas, dissolução de minerais, troca catiônica, efeito de íon comum, entre outros fenômenos relevantes. Essa abordagem estatística avançada proporciona informações valiosas sobre os processos geoquímicos e hidroquímicos que afetam a qualidade da água subterrânea, contribuindo significativamente para uma compreensão mais profunda do sistema hídrico subterrâneo.

A classificação dos tipos hidroquímicos é comumente representada pelos diagramas de *Stiff* e de *Piper*. Os diagramas de *Stiff* são especialmente úteis, pois as diferentes formas e tamanhos gerados por eles expressam as características das águas de forma clara, permitindo sua classificação e correlação. Além disso, esses diagramas podem ser representados em mapas, o que possibilita uma melhor visualização da distribuição dos tipos hidroquímicos nos aquíferos das bacias estudadas. Essas representações gráficas são de grande valia para compreender a variabilidade das composições químicas das águas subterrâneas em diferentes regiões, auxiliando na identificação de padrões hidroquímicos.

Já o diagrama de *Piper* é uma ferramenta frequentemente empregada em estudos que envolvem muitas análises químicas de água. Sua utilização visa classificar e comparar os distintos grupos de água com base nos íons dominantes presentes. Essa abordagem permite uma visualização clara e concisa das características químicas das águas subterrâneas, facilitando a identificação de padrões e tendências entre as amostras analisadas.

Para visualizar a distribuição das concentrações das substâncias químicas analisadas, é comum utilizar a representação em mapas de isovalores, elaborados com base em métodos geoestatísticos, destacando-se o método da Krigagem. A Krigagem é uma técnica de interpolação de dados que emprega um método de regressão, levando em conta as características espaciais de autocorrelação das variáveis regionalizadas. Essa abordagem permite estimar os valores desconhecidos em locais não amostrados, proporcionando uma representação visual da distribuição das concentrações químicas em determinada área.

5.4.5 *Integração entre Dados de Monitoramento de Águas Subterrâneas e Superficiais*

A integração dos dados da rede de monitoramento de águas subterrâneas com os dados da rede de monitoramento de águas superficiais desempenha um papel primordial na compreensão abrangente da dinâmica hídrica de uma região específica. Essa inter-relação entre as águas superficiais e subterrâneas foi um dos principais impulsionadores para a criação do Programa Nacional de Águas Subterrâneas – PNAS. O PNAS enfatiza que a gestão das águas subterrâneas não pode ser tratada de forma isolada da gestão das águas superficiais, devido à estreita interconexão desses dois componentes fundamentais do ciclo hidrológico. Mourão (2009) cita que o monitoramento integrado de águas superficiais e subterrâneas e de dados climatológicos contribuem para:

- Cálculo do balanço hídrico com base em parâmetros mais consistentes;
- Favorecer as estimativas de recarga, porosidade eficaz e reservas renováveis para os aquíferos;
- Estimar o tempo de residência das águas subterrâneas a partir de dados de nível de água e das vazões dos cursos de água superficiais, com referência a um evento de recarga;
- Determinar a relação dos cursos de água superficiais e o fluxo subterrâneo (rios efluentes e influentes);
- Avaliar a influência dos aquíferos na qualidade química dos cursos de água superficiais e vice-versa.

Nesse contexto, o estudo ora apresentado propõe de forma efetiva o monitoramento integrado ao recomendar a instalação de poços de monitoramento exclusivos em áreas que abrigam estações fluviométricas e pluviométricas em funcionamento, distribuídas pela área do SAPP.

Essas estações fornecem dados hidrometeorológicos acessíveis por meio do Portal HidroWeb (www.snirh.gov.br).

5.4.6 *Procedimentos para a Alimentação do Banco de dados*

Para alimentar eficientemente um banco de dados de águas subterrâneas, é essencial estabelecer procedimentos detalhados e sistemáticos. Estes procedimentos garantem a coleta, o registro e a atualização de informações precisas, seguindo etapas que envolvem desde a instalação e manutenção dos poços de monitoramento até a análise de dados e relatórios. O banco de dados será alimentado em três instâncias distintas: (1) informações iniciais; (2) dados de qualidade da água aferidos em laboratório; e (3) dados de coleta sistemática.

1. Informações iniciais

As informações iniciais serão as primeiras a entrarem no banco de dados e serão obtidas na perfuração do poço ou do teste de bombeamento. Nesta instância entrarão informações como: características construtivas, características hidrodinâmicas iniciais, testes de bombeamento e coordenadas de localização. Essas informações são necessárias para o cadastro do poço na rede a ser implantada.

2. Dados de qualidade da água

Os dados de qualidade da água, que não serão coletados de forma sistemática, passarão por análise em laboratório e deverão ser inseridos no banco de dados. Para evitar erros de digitação, recomenda-se que o laboratório envie esses dados em um formato específico que permita a entrada semiautomática no sistema.

3. Dados de coleta sistemática

Quanto aos dados de coleta sistemática (níveis, temperatura e condutividade), é preciso prever duas formas de imputar dados brutos no sistema. Por IoT, em UTRs com transmissão automática, e de forma manual. No formato automático, os dados serão compilados em um arquivo no formato "*.csv*" para alimentação automática do banco de dados. No formato manual, o preenchimento será realizado através de formulários que permitam o abastecimento do banco de dados com informações não disponibilizadas com monitoramento automático.

A funcionalidade de inserção manual de valores deverá ser gerenciada via CMS (*Content Management System*), que significa Sistema de Gestão de Conteúdo e tem como objetivo permitir a alimentação manual do banco de dados. Desta forma, as leituras realizadas manualmente pelas equipes de campo, também estarão disponíveis no sistema, ampliando seu uso e permitindo a análise dos demais locais não monitorados automaticamente.

A página de inserção manual de dados deverá comportar, minimamente, a exibição de valores como nome e código do poço, nível de água, temperatura, condutividade elétrica e estampa de tempo (data e hora), contudo, os formulários para inserção manual de dados deverão ser personalizáveis via CMS. Além desses dados, deve-se prever links para dados hidroquímicos, dados de chuva e dados de vazão de cursos de água superficiais, quando for o caso.

Também deverá ser possível editar e remover os dados inseridos manualmente, possibilitando correção de dados adicionados de forma equivocada, com intuito de reduzir ou eliminar erros no sistema e aumentar sua confiabilidade.

Toda inserção manual de dados deverá conter informações do usuário que as inseriu no sistema. Estas informações deverão ser salvas de forma automática, não permitindo edição por qualquer que seja o grupo de usuários, independentemente do nível de acesso no sistema. Os demais grupos de usuários e suas permissões deverão ser discutidas com a equipe técnica das Agências e apresentadas pelo fornecedor da instalação do sistema.

5.5 OBSERVAÇÕES FINAIS DA REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PROPOSTA

O presente capítulo teve como objetivo apresentar a “Elaboração de Proposta de Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas do Estado da Paraíba”. A formulação da proposta de implementação de rede de monitoramento quali-quantitativa de águas subterrâneas na área do SAPP levou em consideração todo o trabalho desenvolvido nos capítulos anteriores, que forneceram os subsídios necessários para a estruturação e definição da rede no formato apresentado.

A rede de monitoramento do SAPP foi formulada atendendo aos preceitos de uma rede regional e, tem como objetivo geral, ser um instrumento de aquisição de informações sobre a qualidade e quantidade de águas subterrâneas armazenadas neste sistema. Para isso, a rede foi pensada para ser implementada em três instâncias distintas, ou seja: poços para a rede inicial, poços de dedicação exclusiva e poços da rede flutuante.

Isso porque a estrutura da rede foi pensada para ser implementada aos poucos, aproveitando incialmente os poços existentes, ou seja, já perfurados. Essa foi denominada como rede inicial. Os poços existentes foram vistoriados *in loco* quanto à viabilidade de aproveitamento, levando em consideração as condições estruturais, sanitárias e de segurança do local. Uma vez que já foram perfurados, poços desativados representam as estruturas mais adequadas, tanto do ponto de vista técnico como econômico, para inserção na rede.

Para um segundo momento, após a implementação e estruturação da rede inicial, foi estabelecida a macrolocalização para a implementação de uma rede de dedicação exclusiva, a qual teria poços perfurados com a finalidade única de fornecer dados para o monitoramento do SAPP. Os poços de dedicação exclusiva, a serem perfurados, tiveram sua macrolocalização determinada em áreas em que existem estações hidrometeorológicas operantes, cujos dados já haviam inclusive sido utilizados em capítulos anteriores.

Paralelamente à implementação das redes inicial e de dedicação exclusiva, sugeriu-se a implementação da rede de poços flutuantes. Esta foi designada assim, por tratar-se de dados que não dependem do controle direto da AESA, mas que seriam recebidos de todos os poços outorgados como uma condicionante da manutenção da outorga.

Sendo assim, neste estudo é proposto, portanto, a inclusão de 52 pontos na rede de monitoramento estadual da Paraíba, dos quais 37 representam poços tubulares existentes e 15 são locais a serem perfurados para a instalação de poços de dedicação exclusiva no SAPP. O monitoramento quali-quantitativo nesses 52 poços da rede a ser implantada contempla os subsistemas livre e confinado.

A forma como a rede foi desenhada, prevê que seu processo de implementação seja dinâmico e requeira ajustes de acordo com a intensificação da explotação dos recursos hídricos subterrâneos, ampliação do nível de estresse dos aquíferos e disponibilidade de recursos financeiros para criação, manutenção e operação da rede. O adensamento da rede com a inclusão progressiva de novos pontos de monitoramento será uma atividade ininterrupta, respaldada na análise dos resultados obtidos anteriormente. Em função dos altos custos operacionais e a relativa complexidade na estruturação e implantação de uma rede de monitoramento foi recomendado que a rede fosse instituída de forma gradual.

Sendo assim, a definição dos locais para instalação de poços de dedicação exclusiva nas zonas de gerenciamento adotadas neste estudo obedeceu a critérios de priorização. Esses critérios levaram em conta a análise do mapa de vulnerabilidade dos aquíferos, as fontes

potenciais de contaminação e o mapa de intensidade de explotação. Os resultados permitiram arranjar as zonas de gerenciamento em ordem de prioridade para instalação desses poços. As subzonas de gerenciamento 8, 10 e 11 têm prioridade na instalação de poços de monitoramento para avaliação da quantidade qualidade da água subterrânea do SAPP.

O plano de monitoramento apresentado envolve a definição dos objetivos do monitoramento e a etapa de implementação da rede, que inclui a determinação dos parâmetros que serão medidos e o estabelecimento da periodicidade das coletas de amostras. Cada poço abarcará três sensores, os quais medirão nível (pressão), temperatura e condutividade. São os três itens viáveis a serem monitorados, os demais são muito onerosos de serem monitorados de forma automática.

O monitoramento quantitativo foi desenhado para medir os níveis estáticos dos poços da rede de forma automática a cada 1 hora, o que elimina as variáveis humanas e técnicas anteriormente mencionadas, proporcionando uma coleta de dados mais precisa, eficiente e contínua. A aquisição e transmissão de dados é realizada em um sistema baseado em Unidades Terminais Remotas (UTR), que recebem as informações dos sensores via cabo. Essas UTRs são responsáveis por enviar os dados através da tecnologia GPRS para a nuvem, onde podem ser armazenados e processados utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT).

O equipamento que efetivamente fará a medição dos níveis é o transdutor de pressão, também conhecido como transmissor de pressão, é um dispositivo que converte a pressão hidrostática em um sinal elétrico analógico. Em poços de monitoramento de níveis foi recomendada a instalação de transdutores de menor range de variação de pressão, de modo a registrar variações pequenas dos níveis de água. Para poços com grandes variações de nível deve-se optar por sensores com maior range de pressão.

Além da medição dos níveis, serão medidos e transmitidos por telemetria a temperatura e a condutividade elétrica. Demais parâmetros de qualidade da água encarecem muito a medição automática e, portanto, foram previstos para serem medidos de forma manual e com periodicidade semestral. Em casos de alterações observadas na condutividade elétrica, ou nas próprias análises semestrais, ficou estipulado que a frequência de amostragem deveria ser semanal até que se identifique a causa da alteração ou que os parâmetros voltem para as condições basais.

Os estudos de qualidade da água existentes na área do SAPP avaliaram a qualidade da água subterrânea com base em um número reduzido de parâmetros e de amostras, que não representam adequadamente as características hidroquímicas em toda a extensão do aquífero. Sendo assim, com a finalidade de aprimorar a definição dos parâmetros de monitoramento, foi definida uma gama maior de parâmetros para serem monitorados no âmbito da rede.

Considerando que as características peculiares de cada aquífero são ainda desconhecidas, sugere-se num primeiro momento a análise de parâmetros cuja maioria está incluída na Portaria nº888/GMS, que estabelece os padrões de qualidade da água para consumo humano. Os parâmetros químicos e físico-químicos escolhidos desempenham um papel crucial na definição e caracterização da qualidade natural das águas subterrâneas. Além disso, eles são essenciais para compreender os processos hidrológicos e as interações complexas entre as águas subterrâneas e outros componentes ambientais, como os ecossistemas e as águas superficiais.

6 DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA OUTORGA DO USO DA ÁGUA NA REGIÃO DO SAPP

O presente capítulo resulta da atividade 5.7 estipulada no Termo de Referência, que trata da proposição de diretrizes e critérios técnicos para licença de obra hídrica (poço) e para outorgas de águas subterrâneas no SAPP. As atividades abrangem a determinação de critérios construtivos para os poços, visando à obtenção da licença prévia de obra hídrica e, por conseguinte, à proposição de critérios técnicos para a outorga dos recursos hídricos subterrâneos. O objetivo deste capítulo é servir como fonte técnica de informações para a elaboração de uma resolução do CERH-PB sobre licença prévia de obra hídrica do tipo poço e para a outorga de direito de uso de águas subterrâneas. Consta neste documento o Anexo XVI – Minuta de Resolução.

Para atender a esse objetivo, ao longo deste capítulo são apresentadas as legislações vigentes sobre licença de obra hídrica do tipo poço e sobre a obtenção de outorga de direito de uso de águas subterrâneas no estado da Paraíba. Na sequência, são propostos novos critérios para a obtenção de licença de obra hídrica do tipo poço, considerando a aplicação de estudos hidrogeológicos para a perfuração dos poços, conforme as normas NBR específicas.

Por fim, são apresentados estudos já realizados para regiões da área de estudo com a proposição de critérios de outorga dos mananciais subterrâneos do SAPP. Esses estudos foram utilizados como base e fonte de dados para a elaboração de novos critérios de outorga, organizados conforme a área de abrangência em três níveis: global, regional e local. Esses níveis foram aplicados considerando as zonas e subzonas definidas no capítulo 4, determinadas com base no balanço hídrico e nas características hidrogeológicas da área de estudo, respectivamente.

6.1 LEGISLAÇÃO ATUAL SOBRE LICENÇA DE OBRA HÍDRICA (POÇO) E OUTORGA

Nesse item são apresentadas as legislações atuais vigentes no estado da Paraíba sobre licença de obra hídrica (do tipo poço) e sobre outorga para uso de água subterrânea.

6.1.1 *Legislação sobre prévia licença de obra hídrica (poço)*

O Decreto Estadual n° 19.258, de 31 de outubro de 1997, regulamenta o controle técnico sobre a licença de obras hídricas, entre elas os poços, para o estado da Paraíba. A definição

de poço dada pelo decreto determina “estrutura escavada ou perfurada no solo para a captação de água subterrânea”. O decreto classifica os poços em relação a sua profundidade e vazão nominal de teste, como mostra o Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Classificação dos poços de acordo com profundidade e vazão.

Classificação pela profundidade	
Classificação	Profundidade (m)
Raso	< 20
Mediamente profundo	20 a 50
Profundo	> 50
Classificação pela vazão	
Classificação	Vazão (l/h)
Pequena vazão	< 2.000
Média vazão	2.000 a 5.000
Grande vazão	> 5.000

Fonte: Decreto n° 19.258/97.

Para a realização de qualquer obra ou serviço de oferta hídrica que modifique o regime, quantidade ou qualidade das águas subterrâneas, como a construção de poços, é necessária a obtenção de uma licença prévia, concedida pela Secretaria da Infraestrutura e dos Recursos Hídricos do estado da Paraíba. Estarão isentos da obtenção de licença prévia os poços que não ultrapassem a vazão de 2.000 L/h, independentemente de sua profundidade. A inexigibilidade da licença prévia para poços rasos não será concedida nas zonas de formação sedimentar classificadas como regiões de aquíferos estratégicos ou aquíferos diretamente alimentados por vazões regularizadas, como é o caso do SAPP.

O pedido de licença prévia deverá ser realizado mediante a apresentação de um formulário preenchido com informações referentes ao poço, como sua localização, estudo hidrogeológico e projeto básico da obra, conforme o artigo nº 9. É facultativa ao solicitante a apresentação de uma carta consulta ao órgão gestor, visando a um exame preliminar ou a identificar limitações à implantação da obra ou serviço de oferta hídrica, contendo informações hidrogeológicas sobre o serviço pretendido.

6.1.2 *Legislação sobre outorga para águas subterrâneas*

No estado da Paraíba, a AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, criada pela Lei nº 7.779/05 e regulamentada pelo Decreto nº 26.224/05, é responsável pela análise e emissão das outorgas para o uso das águas subterrâneas. Também compete à AESA a implantação e atualização do cadastro de poços do estado e de um sistema de informações sobre os cadastros existentes.

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), e seus objetivos são assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o exercício efetivo dos direitos de acesso à água. No estado da Paraíba, a outorga foi regulamentada pelo Decreto Estadual nº 19.260, de 31 de outubro de 1997. Esse decreto traz diretrizes sobre o gerenciamento dos recursos hídricos no estado e define aspectos importantes relacionados aos mananciais subterrâneos e às implicações necessárias para o processo de outorga. O decreto estabelece uma ordem de prioridade para a concessão de outorga, conforme apresentada no Quadro 6.2 a seguir:

Quadro 6.2 – Prioridades de uso da água para outorga.

Ordem	Finalidade
1	Abastecimento doméstico.
2	Abastecimento coletivo especial, para hospitais, quartéis, presídios, colégios e etc.
3	Outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e outros núcleos habitacionais, sem caráter residencial, como entidades públicas, comércio e indústria, ligados a rede urbana.
4	O uso da água, através da captação direta para fins industriais, comerciais e de prestação de serviços.
5	O uso da água, através da captação direta ou por infraestrutura de abastecimento para fins agrícolas, como irrigação, pecuária, piscicultura, entre outros.
6	Outros usos da água permitidos pela legislação.

Fonte: Decreto Estadual n° 19.260, de 31 de outubro de 1997.

Em complemento, são abordadas as modalidades de outorga, classificando-as em cessão de uso (para órgãos ou entidades públicas), autorização de uso (uma forma mais temporária de conceder o uso da água para pessoas físicas e jurídicas) e concessão de uso (uma forma mais duradoura de concessão para pessoas físicas e jurídicas). O decreto também define que a disponibilidade hídrica dos mananciais subterrâneos depende das características hidrogeológicas do local onde se decide realizar a outorga, e o referencial quantitativo pode ser baseado na vazão nominal de teste do poço (representada pela vazão regularizada pelo poço no período de 24 horas) ou pela capacidade de recarga do aquífero.

Além disso, não será concedida outorga para lançamento de poluentes em águas subterrâneas, e não será exigida licença prévia para poços com vazão de até 2.000 L/h. O decreto também estabelece um prazo máximo de 10 anos para a vigência da outorga de direito de uso da água, podendo a concessão ser renovada mediante análise da Secretaria da Infraestrutura e dos Recursos Hídricos do estado da Paraíba.

6.2 PROCEDIMENTOS GERAIS PARA OBTENÇÃO DE PRÉVIA LICENÇA DE OBRA HÍDRICA (POÇO) NA ÁREA DO SAPP

O processo para obtenção de prévia licença para a construção de poços deve levar em consideração os diversos aspectos hidrogeológicos da área de perfuração do poço. A prévia licença para construção de um poço deverá ser emitida pela AESA, com prazo de 1 ano. A AESA irá verificar a quantidade e a qualidade da água do aquífero, enquanto um profissional responsável técnico, devidamente habilitado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA (podendo ser tanto da área de geologia quanto de engenharia de minas) será responsável pelo projeto do poço.

Para o projeto do poço deverá ser preenchido e entregue ao órgão competente um relatório com informações técnicas. Poderão ser exigidos pela AESA mais detalhes e novas informações sobre o projeto do poço. A seguir serão listados alguns dados essenciais referentes aos poços que devem constar no relatório:

i. nome do proprietário da área e comprovação da posse regular ou autorização do uso da área;

ii. endereço da propriedade;

iii. dados do projeto: nome do projeto e classificação do poço quanto as suas características construtivas e pela sua finalidade de uso;

iv. localização (bacia, município, região, riacho, coordenadas geográficas);

v. croqui da localização da propriedade, do poço a ser perfurado e de outros poços existentes na propriedade (caso houver);

vi. aquífero que será explorado;

vii. profundidade estimada do poço;

viii. finalidade de uso da água do poço;

ix. informações, quando possível, sobre a utilização de agrotóxicos e fertilizantes nas redondezas;

x. localização de sistemas alternativos de tratamento de efluentes (como fossas sépticas, sumidouros, fossas ecológicas e etc.).

6.2.1 *Classificação dos poços*

A seguir serão apresentadas as classificações dos poços em relação a suas características construtivas e quanto a sua finalidade de uso.

6.2.1.1 Classificação dos poços quanto a suas características construtivas

Os poços são classificados de acordo com suas características construtivas, em:

a. Poço ou obra de captação subterrânea: qualquer obra, sistema, processo, artefato ou sua combinação com o objetivo principal ou incidental de extrair água subterrânea.

b. Poço tubular: poço de diâmetro reduzido em relação à sua profundidade, perfurado com equipamento especializado.

c. Poço escavado: também conhecido como poço manual, amazonas, cisterna ou cacimba), é um poço escavado manualmente no solo ou rocha, revestido com tijolo ou tubo de concreto, ou sem revestimento, de grande diâmetro em relação à profundidade.

d. Poço ponteira: poço raso que capta água do lençol freático, constituído por um tubo de pequeno diâmetro (de PVC, aço inoxidável ou materiais flúor-polímeros), revestido com tela, com terminação cônica, cravado no terreno por percussão ou rotação.

6.2.1.2 Classificação dos poços quanto a sua finalidade de uso

De acordo com a sua finalidade específica, os poços são classificados em:

a. Poço de captação subterrânea: estrutura projetada com a finalidade de extração de água subterrânea para usos diversos, como abastecimento público, industrial, comercial etc.

b. Poço de monitoramento: segundo a NBR 15495, o poço de monitoramento é um poço projetado e construído especificamente para monitorar a qualidade e/ou o nível da água subterrânea. Esses poços são utilizados em estudos hidrogeológicos, avaliações de contaminação e controle ambiental, permitindo a coleta de amostras de água subterrânea e a medição dos níveis piezométricos.

c. Poço de remediação: são estruturas utilizadas para remover, conter ou reduzir a concentração dos contaminantes presentes em determinada área. O seu objetivo é assegurar a reabilitação daquele espaço, com limites aceitáveis de riscos à saúde humana e meio ambiente.

d. Poço de rebaixamento de lençol: são estruturas projetadas para rebaixar temporariamente o nível de água do solo, de modo a permitir a execução de uma obra subterrânea com segurança. Existem situações, como em prédios de regiões litorâneas, onde o rebaixamento é realizado de forma ininterrupta, com bombas ligadas 24 horas por dia nos 7 dias da semana.

6.2.2 *Critérios construtivos*

Este item discorre sobre os critérios construtivos que devem ser seguidos para a perfuração de poços. Todas as etapas do processo de construção de um poço devem seguir as normas técnicas brasileiras regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conhecidas como NBRs. Essas normas estabelecem diretrizes e instruções para a construção de poços em diferentes modalidades, garantindo a execução correta das obras. A NBR 12.212 apresenta diretrizes sobre o projeto de poço tubular para captação de água subterrânea, e a NBR 12.244, diretrizes para a construção de poço tubular com o mesmo propósito.

6.2.2.1 Perfil litológico

O perfil litológico busca representar as litologias presentes ao longo da profundidade do poço. Ele permite separar e identificar os diferentes tipos de litologia, como a presença de diferentes tipos de solo e diferentes tipos de rochas. Com essas informações, podem ser definidas as diferentes propriedades físicas das rochas, identificando contatos geológicos e zonas aquíferas mais promissoras, auxiliando no projeto do poço (Feitosa *et al.*, 2008). Como exemplo, a Figura 6.1 apresenta uma tabela onde são apresentadas as profundidades dos diferentes tipos de litologia e suas descrições. Em complemento, a Figura 6.2 apresenta o perfil litológico de um poço.

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	1	Solo Argiloso	SOLO ARGILOSO DE COR CINZA ESCURO.
1	3	Arenito Fino	ARENITO FINO A MEDIO DE COR AMARRONZADA, BEM SELECIONADO.
3	7	Argila	ARGILA COMPACTA DE COR AMARELADA.
7	9	Arenito Médio	ARENITO MEDIO DE COR AMARELADA, BEM SELECIONADO
9	11	Arenito com Seixos Quartzosos	ARENITO CONGLOMERATICO POUCO ARGILOSO DE COR AMARELADA
11	13	Arenito Médio	ARENITO DE GRANULACAO MEDIA, AMARELO ESBRANQUICADO.
13	19	Arenito Grosso	ARENITO GROSSEIRO DE COR ESBRANQUICADA, MAL SELECIONADO.
19	26	Arenito Calcífero	IDENTICO AO ANTERIOR C/LEVE TEOR CALCIFERO

Figura 6.1 – Exemplo de tabela resumo com os dados litológicos de um poço.

Fonte: SIAGAS (2024).

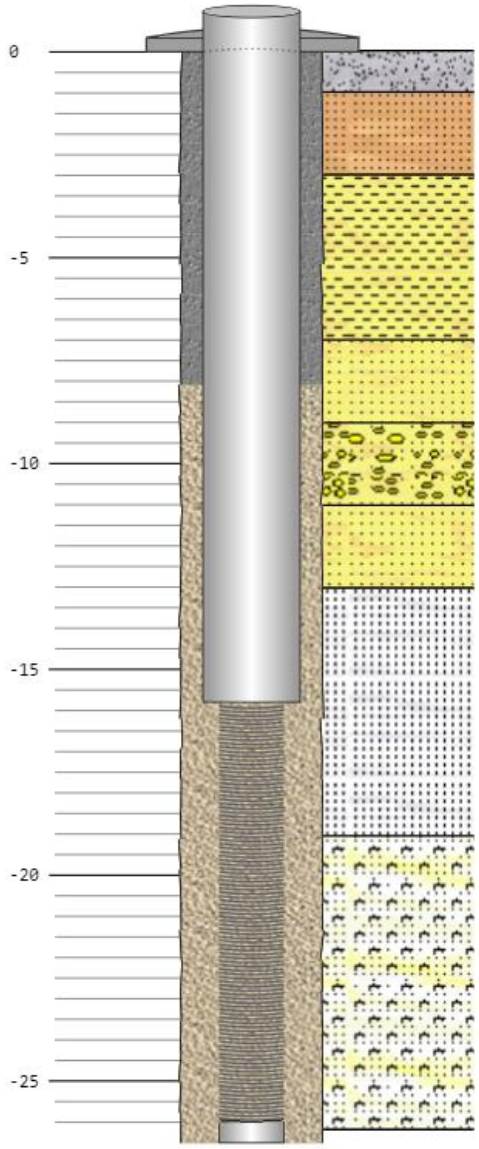


Figura 6.2 – Exemplo de perfil litológico e construtivo de um poço.

Fonte: SIAGAS (2024).

6.2.2.2 Perfil construtivo do poço

Durante a construção, deve ser elaborado o perfil construtivo do poço, representando suas características estruturais. O perfil construtivo deve incluir as dimensões, materiais e componentes ao longo de toda a profundidade do poço, proporcionando uma compreensão completa do sistema de funcionamento da obra. A partir desse perfil, é possível identificar a localização dos filtros, o diâmetro do poço, a tampa de proteção, entre outros elementos. A Figura 6.3 apresenta um exemplo de perfil construtivo de um poço.

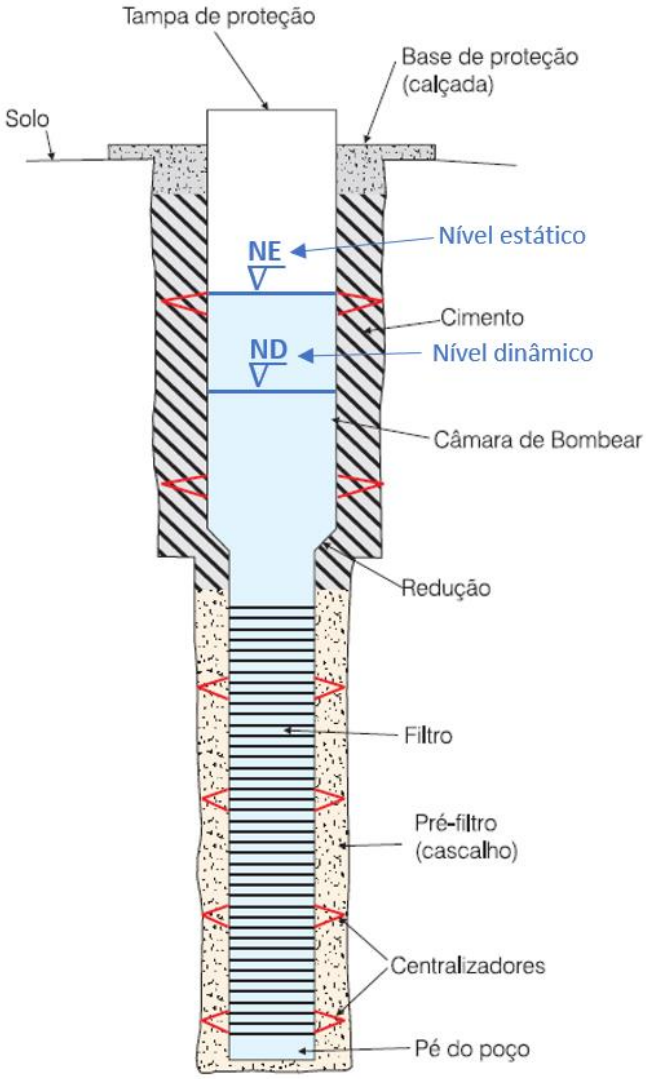


Figura 6.3 – Exemplo de perfil construtivo de um poço.

Fonte: Adaptado de Feitosa *et al.* (2008).

6.2.2.3 Teste de bombeamento

Concluída a construção do poço, devem ser executados e apresentados os resultados dos testes de produção (vazão máxima e escalonada) e de recuperação, para a determinação das condições de explotação e das características hidrodinâmicas do aquífero. O teste de produção escalonado deve ser realizado em no mínimo três etapas, com duração constante de uma ou mais horas. A critério da AESA, o ensaio escalonado poderá ser dispensado, considerando as condições hidrogeológicas locais.

Para a interpretação dos ensaios de produção e determinação das perdas de carga lineares e exponenciais envolvidas no bombeamento, a curva característica do poço, a vazão máxima

admissível e a equação característica do poço, recomenda-se seguir as orientações do "Manual de Operação e Manutenção de Poços" (DAEE, 2007).

A estimativa dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, com base no poço bombeado, pode ser realizada usando o método de Jacob (JACOB, 1947, 1950). Os testes de produção e recuperação devem ser atualizados a cada 10 (dez) anos, conforme as diretrizes do Decreto nº 19.260, de 31 de outubro de 1997, ou sempre que a AESA considerar necessário, em função das condições hidrogeológicas locais.

Em caso de interferência entre poços, a AESA poderá solicitar um relatório técnico detalhado sobre a interpretação hidrogeológica do teste. Caso existam poços em propriedade vizinha, o usuário deverá contatar a AESA para verificar a necessidade de realização de um teste de vazão simultâneo entre os poços.

6.2.2.4 Proteção sanitária

Os poços devem contar com um perímetro de proteção para evitar o contato de pessoas não autorizadas. A boca do poço deve estar a 50 cm acima da laje de proteção sanitária, e o poço deve ter uma tampa e um lacre para impedir a entrada de contaminantes. A laje de proteção sanitária deve ter área mínima de 1 m², com espessura de 15 cm, concêntrica ao tubo de revestimento e com declividade do centro para a borda, conforme a NBR 12.244. Nos poços com bomba submersa, deve haver um tubo auxiliar para medição de níveis.

É necessário garantir a qualidade das águas subterrâneas captadas para o abastecimento público mediante a implementação de perímetros de proteção sanitária. Esses perímetros correspondem à distância coaxial ao sentido de fluxo da água subterrânea, medida a partir do ponto de captação.

O perímetro imediato de proteção é definido por um raio de 10 m a partir do ponto de captação, devendo ser cercado e protegido com telas, para impedir a entrada de poluentes (IG, 2012). O perímetro de alerta corresponde a uma área de proteção interna destinada à prevenção contra contaminação microbiológica. Ele é definido pela distância coaxial no sentido do fluxo subterrâneo, equivalente ao tempo de trânsito de cinquenta dias das águas no aquífero. Um roteiro para delimitação de perímetros de proteção pode ser encontrado em IG (2012).

Wahnfried e Hirata (2005b) destacam que o perímetro de alerta dos poços assume dimensões variadas, conforme a unidade aquífera produtora, seus parâmetros hidrodinâmicos,

rebaixamento do nível d'água, distância da captação, tempo de trânsito da água até o poço, tempo de degradação de contaminantes, entre outras características. No interior do perímetro de alerta, devem ser observados o disciplinamento da extração da água, o controle rigoroso das fontes poluidoras já implantadas e a restrição a novas atividades potencialmente poluidoras.

6.3 PROCEDIMENTOS GERAIS PARA OBTENÇÃO DE OUTORGA NO SAPP

O processo de outorga de águas subterrâneas na área do SAPP deve levar em consideração os diversos aspectos hidrogeológicos da área de estudo para garantir o uso sustentável dos mananciais subterrâneos. Para a obtenção de outorga deverá ser entregue junto com a prévia licença de obra hídrica aprovada pela AESA, um parecer técnico detalhando com os critérios construtivos do poço (após a sua perfuração), contemplando os itens apresentados na lista a seguir:

i. data de perfuração do poço;

ii. profundidade total do poço;

iii. dados do equipamento de bombeamento instalado (se existir);

iv. perfil construtivo do poço (desenho e tabela de informações especificando profundidades e materiais);

v. perfil litológico (contendo desenho e especificações de tipo de solo por profundidade);

vi. níveis estático e dinâmico;

vii. vazão ao final do teste de bombeamento (segundo a NBR 12.244);

viii. laudo de análise físico-química da água de acordo com o uso desejado (a descrição dos parâmetros químicos que deverão ser analisados consta no item 6.4.3.1, o laudo deverá conter a análise do laboratorista);

ix. classificação do poço pelos critérios construtivos.

As informações técnicas solicitadas acima devem ser obtidas a partir de uma Anotação de responsabilidade técnica – ART, assinada pelo profissional responsável técnico da empresa perfuradora, devidamente habilitado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA. Além disso, a critério da AESA poderão ser solicitados esclarecimentos ou feitas exigências complementares àquelas estabelecidas neste documento.

Caso na solicitação da outorga não conste a prévia licença de obra hídrica do poço, o usuário deverá pagar uma multa referente ao valor cobrado pela prévia licença no dia e será cobrado com juros e multa pelo período que foi perfurado e não estava licenciado.

6.4 PROPOSIÇÃO DE NOVOS CRITÉRIOS DE OUTORGA PARA A ÁREA DO SAPP

Buscando complementar a atual legislação sobre outorga no estado da Paraíba, serão apresentados, neste item, critérios de outorga para os mananciais subterrâneos do estado, no que tange à área do SAPP, com base na legislação local, bibliografia especializada e estudos específicos realizados na área. Os novos critérios buscam englobar os aspectos hidrogeológicos da área de estudo, visando à sustentabilidade das águas subterrâneas aliada a uma gestão eficiente, que garanta água na quantidade e qualidade necessárias para todos os setores da sociedade.

Costa (2009, 2011) desenvolveu trabalhos propondo critérios de outorga para águas subterrâneas na porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, presente na Região do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, no estado da Paraíba. Os trabalhos propõem uma metodologia de outorga de águas subterrâneas abrangendo vários níveis de influência, desde a bacia hidrográfica até o poço. Braga et al. (2017) também estudaram a Bacia Sedimentar do Baixo Curso do Rio Paraíba, avaliando os aspectos ligados ao custo de implementação e manutenção, impactos sociais e impacto ambiental dos critérios de outorga propostos no trabalho de Costa (2009, 2011). Foram avaliados oito critérios de outorga, nos quais a priorização do uso da água superficial se mostrou ser o critério menos relevante para a área de estudo, em função do esgotamento da disponibilidade hídrica superficial. Em contrapartida, os critérios de vulnerabilidade dos aquíferos e gestão da demanda foram identificados como os mais relevantes.

Além disso, a autora também desenvolveu trabalhos como Braga et al. (2015), em que foi estudada a variação intra-sazonal da potencialidade hídrica subterrânea e sua influência na outorga na região do baixo curso do rio Paraíba, na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. A autora concluiu em seu trabalho que tanto a vazão nominal de teste de poço quanto a capacidade de recarga do aquífero devem ser consideradas, de maneira conjunta, para a obtenção de uma vazão de outorga sustentável.

A partir dos trabalhos citados anteriormente, os critérios de outorga para o estado da Paraíba serão classificados em três níveis de abrangência, conforme proposto por Costa (2009, 2011), sendo eles: global, regional e local. A classificação busca partir de critérios mais abrangentes para critérios menos abrangentes no processo de outorga, visando a auxiliar no processo de gestão dos mananciais subterrâneos. A seguir, serão caracterizados cada um dos três níveis de abrangência e os respectivos critérios de outorga.

A partir dos trabalhos citados anteriormente, os critérios de outorga para o estado da Paraíba serão classificados em três níveis de abrangência, como foi proposto por Costa (2009, 2011), sendo eles: global, regional e local. A classificação busca partir de critérios mais abrangentes para critérios menos abrangentes no processo de outorga, buscando auxiliar no processo de gestão dos mananciais subterrâneos. A seguir serão caracterizados cada um dos três níveis e abrangência e os seus respectivos critérios de outorga.

6.4.1 *Critérios de outorga em nível global*

O nível global abrange a bacia hidrográfica como um todo, buscando compreender todos os fenômenos que atuam no ciclo hidrológico e que impactam os mananciais subterrâneos. São considerados os limites de retirada de águas subterrâneas na bacia e as demandas ecológicas. Para garantir a sustentabilidade dos mananciais subterrâneos, Costa (2009, 2011) sugere o uso da potencialidade disponível (representando a disponibilidade de água subterrânea) e a prioridade de uso das águas superficiais como critérios para outorga em nível global.

6.4.1.1 Disponibilidade de água subterrânea

No capítulo 4 – ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO, a potencialidade foi estimada com base em trabalhos realizados anteriormente na área de estudo, utilizando a descarga natural do sistema aquífero (vazão de base) do escoamento fluvial. A disponibilidade foi considerada como 60% da potencialidade. Com essa informação, pode-se determinar que apenas 60% do potencial está disponível para outorga, enquanto os outros 40% da recarga anual são reservados para a sustentabilidade dos mananciais subterrâneos.

6.4.1.2 Uso prioritário de águas superficiais

Costa (2009, 2011) propõe considerar o uso das águas superficiais como prioritário em relação ao uso dos mananciais subterrâneos, já que as águas subterrâneas são vistas como

recursos estratégicos, a serem utilizados somente quando não houver alternativas para o atendimento da demanda das águas superficiais. A autora também destaca que é necessário que o órgão gestor conheça a disponibilidade hídrica superficial da região para a qual se deseja outorga, sendo essa disponibilidade determinada pelos volumes dos reservatórios locais. Conhecer a disponibilidade hídrica superficial de uma bacia hidrográfica significa ter acesso a um banco de dados que informa a quantidade sustentável de água disponível na bacia e por quanto tempo essa água pode ser utilizada.

Quando a demanda hídrica pode ser atendida com recursos superficiais, a concessão de outorga para águas subterrâneas fica vedada. Entretanto, a situação socioeconômica do usuário deve ser avaliada, pois, dependendo da distância da fonte de captação superficial, a utilização da água superficial pode se tornar mais onerosa do que a perfuração de um poço. Na ausência de uma fonte hídrica superficial para atender à demanda do usuário, torna-se necessária a utilização de mananciais subterrâneos.

6.4.2 *Critérios de outorga em nível regional*

O nível regional é estabelecido a partir das zonas de recarga e descarga de água subterrânea, sendo necessário proporcionar usos múltiplos e prioritários da água. Para representar essas regiões, foram utilizadas subzonas de gerenciamento definidas no capítulo 4 – ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO. As subzonas foram delimitadas com base em características como uso e ocupação do solo, conexão entre ecossistemas, intensidade de explotação, recarga subterrânea, vulnerabilidade, características hidrogeológicas das formações que compõem a porção do sistema aquífero, fontes de poluição, qualidade das águas subterrâneas, limites das bacias hidrográficas e áreas definidas no projeto ASUB[6]. A Figura 6.4 apresenta as subzonas delimitadas no capítulo 4.

[6] - Projeto ASUB - Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas.

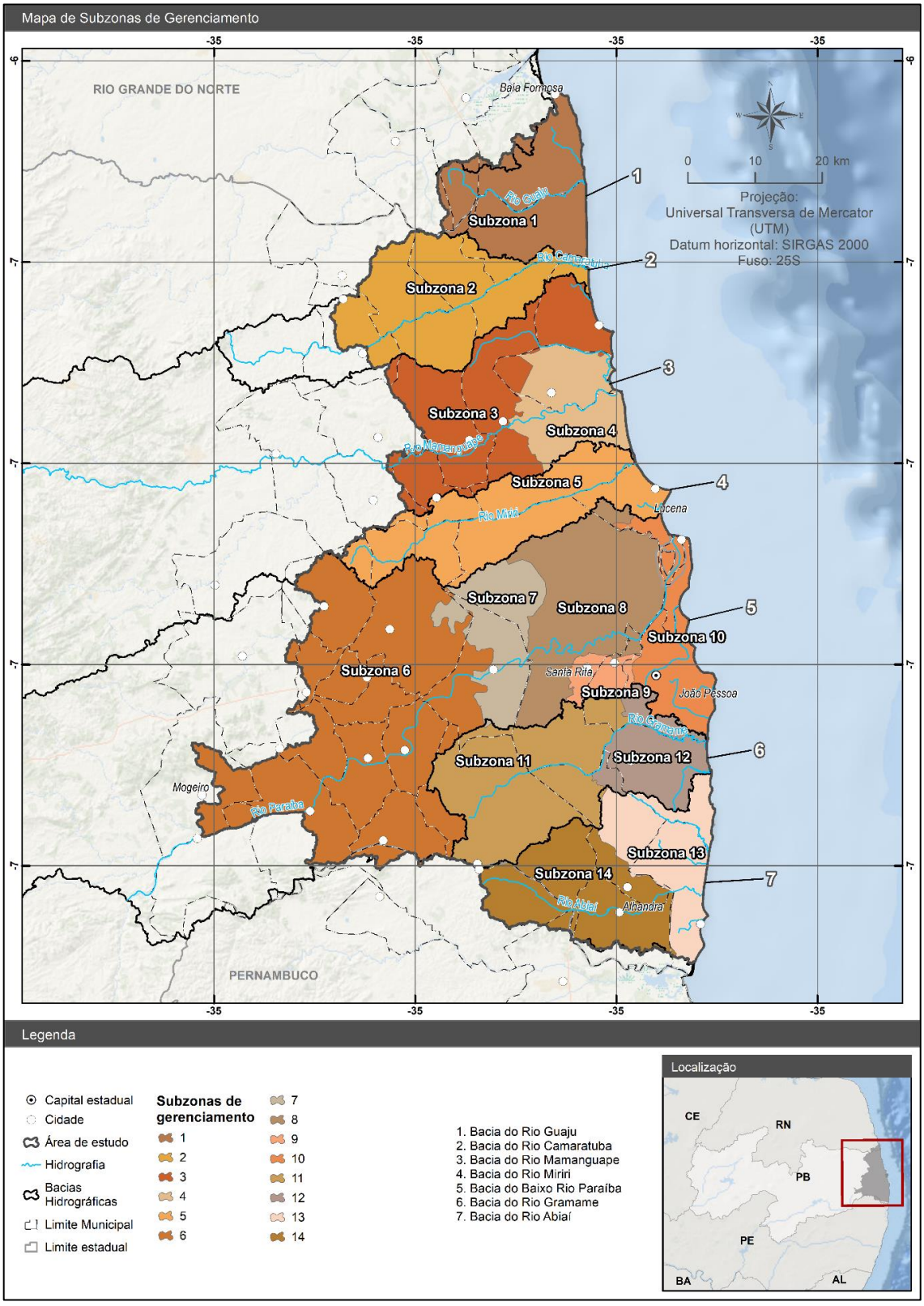


Figura 6.4 – Subzonas de gerenciamento para o SAPP.

6.4.2.1 Usos prioritários da água

Partindo das definições de prioridade de uso da água abordadas no Decreto Estadual n° 19.260/97, detalhadas no item 6.1, Costa *et al.* (2011) sugerem que sejam mantidos como usos prioritários o abastecimento humano e a dessedentação animal, seguidos pelos usos industrial, comercial e para prestação de serviços e, por fim, os usos para fins da agroindústria, como irrigação, piscicultura e carcinicultura.

6.4.2.2 Intrusão salina

Na análise da intrusão salina, é necessário destacar que, em aquíferos litorâneos, a água subterrânea normalmente flui em direção ao mar devido à sua maior carga hidráulica. No entanto, a água salina do mar pode infiltrar-se no subsolo continental, formando uma interface oblíqua sob a água doce e criando uma cunha salina nas zonas costeiras. Essa cunha é equilibrada pela descarga de água doce ao mar, mas a exploração intensiva do aquífero por meio de bombeamento pode desestabilizar esse equilíbrio. O excesso de bombeamento reduz a descarga de água doce, permitindo que a cunha salina avance para o interior, contaminando poços de captação de água.

No capítulo 2 – DIAGNÓSTICO, não foram localizados trabalhos para a área de estudo que determinem os locais de interferência da cunha salina. As regiões da área de estudo que estão mais suscetíveis a sofrer com os impactos da intrusão salina no futuro encontram-se próximas à costa, como as subzonas 1, 2, 3, 4, 5, 10, 12 e 13.

Para identificar futuramente a ocorrência da intrusão salina, é necessário realizar o monitoramento hidroquímico dos poços da área de estudo, caracterizando a água com base em seus aspectos hidrogeológicos. Com essa caracterização, será possível compreender quais substâncias estão presentes em função das características hidrogeológicas do sistema aquífero e quais podem estar presentes devido à intrusão salina no poço. Após a caracterização, devem ser feitas análises a cada seis meses, buscando identificar novas substâncias na água dos poços que possam ter origem na intrusão salina. Entre essas substâncias estão, principalmente, os cloretos de sódio e magnésio e os sulfatos de cálcio e magnésio, que, juntamente com uma aparência turva e substâncias em suspensão, podem indicar a influência da água do mar em um poço.

Segundo a Portaria 888/MS, que consolida as normas sobre ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (abordando em seu Anexo XX os padrões de potabilidade da água para consumo humano), os valores máximos permitidos de cloreto e de sódio são, respectivamente, 250 mg/L e 200 mg/L. Dessa forma, valores de cloreto e de sódio acima dos padrões máximos permitidos devem ser um ponto de atenção, levando à investigação de uma possível ocorrência de intrusão salina no poço analisado.

Oliveira (2016) modelou o avanço da cunha salina em uma parte da região metropolitana de Maceió, onde existe um sistema aquífero costeiro, apresentando em seu trabalho as principais substâncias indicativas da salinização. O Quadro 6.3 mostra os elementos/parâmetros químicos e seus indicativos de salinização, que, juntamente com a interpretação dos resultados do monitoramento hidroquímico, podem confirmar a ocorrência de intrusão salina em um poço:

Quadro 6.3 – Indicativos da ocorrência de salinização.

Elemento/Parâmetro químico	Indicativos da ocorrência de salinização
Sódio (Na+)	O Sódio é um dos principais responsáveis pela salinidade das águas naturais. Sua concentração tende a aumentar progressivamente das zonas de recarga do aquífero em direção às áreas mais confinadas ou pontos de exutório. Em águas subterrâneas, sua concentração pode variar de 0,1 a 10 mg/L, enquanto em águas doces, essa faixa é de 1 a 150 mg/L. No Oceano Atlântico, as concentrações podem alcançar 11.100 mg/L (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996).
Magnésio (Mg^{2+})	O magnésio contribui para a dureza e o sabor salobro das águas, ocorrendo principalmente na forma de bicarbonato. A água do Oceano Atlântico apresenta uma concentração média de 1.410 mg/L de magnésio, enquanto nas águas subterrâneas, os valores variam entre 1 e 40 mg/L (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996).
Cloreto (Cl-)	Os cloretos são encontrados naturalmente nas águas subterrâneas devido à percolação da água através de solos e rochas. Efluentes industriais, como os da indústria de petróleo, farmacêutica e de curtumes, frequentemente apresentam altos níveis de cloretos. A intrusão de água salina em áreas costeiras também pode elevar as concentrações de cloretos. Em geral, as águas subterrâneas possuem menos de 100 mg/L de cloretos, enquanto as águas do mar podem conter entre 18.000 e 21.000 mg/L (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996).
Razão rMg^{2+}/rCa^{2+}	Águas que circulam em litologias marinhas ou que sofreram intrusão salina possuem uma elevada razão rMg^{2+}/rCa^{2+}. A razão típica da água do mar é em torno de 5. Altos valores dessa razão, juntamente com elevados teores de cloretos, podem indicar contaminação por água marinha. Segundo Hem (1985), valores superiores a 0,9 indicam contato com água do mar ou fluxo através de rochas básicas (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996).
Razão rCl-/rHCO3-	Essa razão é útil para caracterizar a intrusão salina. Em águas continentais, os valores variam entre 0,1 e 5, enquanto no mar, os valores estão entre 20 e 50. Se o aumento de cloretos for devido à concentração de sais nas zonas de recarga, a razão crescerá menos do que no caso de uma intrusão marinha (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996; HEM, 1985).

Fonte: Oliveira (2016).

Se for verificada a contaminação dos poços por água salina do mar, deve-se reduzir a vazão de explotação, buscando minimizar o avanço da cunha salina. Além disso, para prevenir a intrusão salina, Costa et al. (2011) destacam que é crucial manter uma distância segura entre os poços de captação e a linha da costa, determinada por estudos com modelos de fluxo subterrâneo, assegurando que as outorgas de água sejam concedidas de forma a preservar a dinâmica natural do escoamento subterrâneo.

A determinação da forma da interface que separa água doce e água salgada, com diferentes densidades e induzida pelo bombeamento dos poços, incluindo o valor da vazão crítica acima da qual a água salgada pode contaminar o poço, exige um conhecimento detalhado dos parâmetros hidrodinâmicos e da geometria do aquífero costeiro (FEITOSA et al., 2008).

A extensão da intrusão de água salgada em um aquífero depende de vários fatores, incluindo a vazão total de água subterrânea extraída em comparação com a recarga; a distância entre os locais de descarga de água subterrânea; a estrutura geológica do aquífero ou sistemas aquíferos; a distribuição das propriedades hidráulicas dos aquíferos; e a presença de unidades confinantes, que podem limitar a movimentação vertical da água salgada em direção ao interior do aquífero (https://ca.water.usgs.gov/sustainable-groundwater-management/seawater-intrusion-california.html).

Embora existam formulações simplistas para estimativa da forma e distância da cunha salina continente adentro, como a equação de Glover (1959), a equação desenvolvida por Schmork e Mercado (1969), Dagan e Bear (1968) e a equação de Strack (1976), essas equações não contemplam todas as variáveis que controlam essas dimensões, especialmente considerando a complexidade hidrogeológica da costa paraibana e a grande quantidade de poços em operação, de modo que sua aplicação não reproduz resultados confiáveis.

A melhor solução para se estabelecer a forma e a distância continente adentro da interface água doce/água salgada é a modelagem numérica tridimensional de fluxo e transporte de solutos, baseada no conhecimento detalhado dos parâmetros hidrodinâmicos e da geometria do aquífero (FEITOSA et al., 2008). Ainda assim, os resultados somente serão satisfatórios se as observações disponíveis permitirem efetuar uma calibração e validação desses modelos. Além disso, deve-se considerar a coexistência entre aquíferos livres e confinados ao longo da linha de costa paraibana, o que dificulta ainda mais o desenvolvimento do modelo de fluxo.

Considerando a inexistência de um estudo específico sobre a intrusão salina nos aquíferos costeiros da Paraíba e a necessidade urgente de se estabelecer um distanciamento dos poços em relação à linha de costa, a fim de minimizar ou impedir o avanço da cunha salina, foi empregada a formulação de Glover (1959), apresentada a seguir:

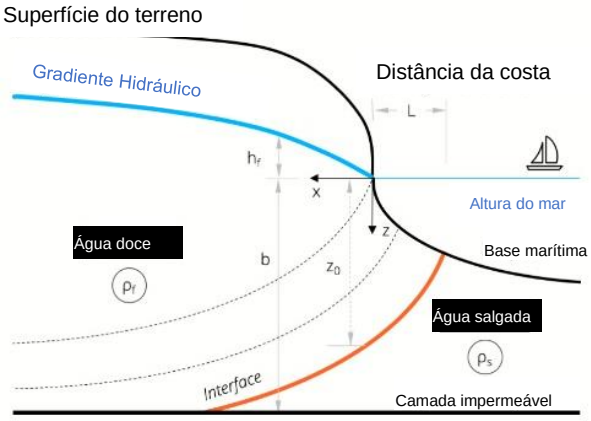
$$Z^2 = \frac{2qx\rho f}{K(\rho s - \rho f} + [\frac{q\rho f}{K(\rho s - \rho f)}]^2$$

Onde “q” é o fluxo de água subterrânea por unidade de comprimento da linha de costa [L²/T], “K” é a condutividade hidráulica [L/T], “x,z” é a distância da linha de costa [L], “ρf” é a densidade da água doce [M/L³] e “ρs” é a densidade de água salgada [M/L³].

Essa equação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Z(x) = \sqrt{\frac{2ibx}{(\rho s - \rho s)} + \left(\frac{ib\rho f}{(\rho s - \rho s)}\right)^2}$$

Onde “i” é o gradiente hidráulico e “b” é a espessura do aquífero (m). Os parâmetros e valores de entrada utilizados para estimativa da distância da interface água doce/água salgada da linha de costa estão representados na figura abaixo.



Parâmetros de entrada
Espessura do aquífero: 350 m
Gradiente hidráulico: 0,005
Densidade água doce: 1 g/cm³
Densidade água do mar: 1,025 g/cm³

Figura 6.5 – Representação dos parâmetros de entrada da equação de Glover (1959) e valores utilizados para estimativa da distância da interface água doce/água salgada da linha de costa.

O resultado da aplicação da equação de Glover (1959) indica que interface água doce/água salgada encontra-se a cerca de 850 m da linha de costa (Figura 6.6).

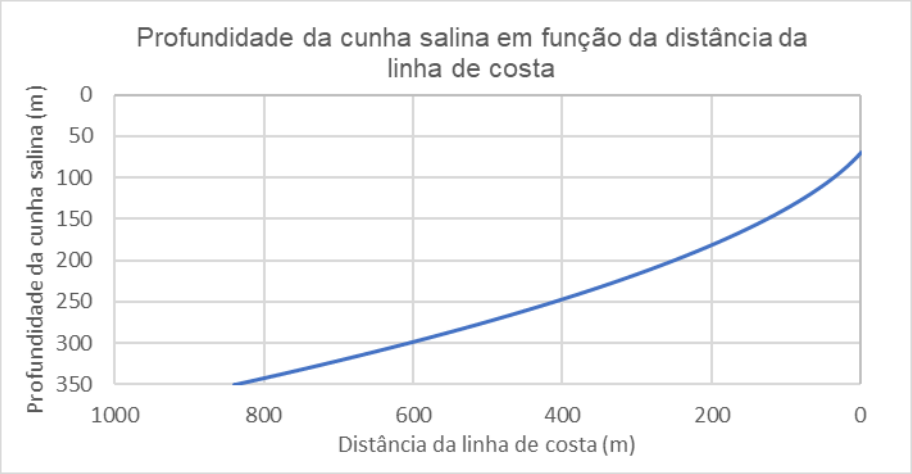


Figura 6.6 – Profundidade da cunha salina em função da distância da linha de costa.

O resultado apontado pela equação de Glover (1959) não considera o conjunto de poços em bombeamento. Assim sendo, é proposto um afastamento mínimo de 1 km dos poços da linha de costa.

Para as subzonas onde há a presença do aquífero confinado, a distância segura para exploração poderia ser menor, considerando as condições locais. Nas demais zonas, é mais eficiente limitar a profundidade do poço de acordo com a espessura do aquífero livre. Por exemplo, na região norte, onde a espessura é de 350 metros, não é necessário atingir essa profundidade máxima para exploração. Assim, a distância limite de 1 km da linha da costa pode ser reduzida, desde que sejam estabelecidos limites à profundidade de perfuração.

6.4.2.3 Recomenda-se que a exploração seja permitida a partir de uma distância de 100 metros da linha da costa. A partir dessa distância, a profundidade de perfuração deve ser restrita, ou os limites de vazão máxima devem ser delimitados com base nos critérios hidrogeológicos específicos da região. O conceito de vazão insignificante (6.4.3.5) pode ser utilizado para estabelecer níveis de bombeamento que não comprometam a sustentabilidade do aquífero, especialmente em zonas onde o sistema é mais vulnerável à intrusão salina.Disponibilidade de outorga em função das zonas de gerenciamento

No capítulo 4 – ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO, que apresenta estimativas de potencial e disponibilidade das águas subterrâneas, foram definidas zonas de gerenciamento com base em subzonas, também definidas no mesmo capítulo, como mostra o Quadro 6.4 a seguir. Adicionalmente, a Figura 6.7 mostra o mapa com a localização de cada uma das zonas de gerenciamento.

Quadro 6.4 – Classificação das zonas realizada no capítulo 4.

Subzonas	Zonas
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11 13 e 14	Zona estável
10 e 12	Zona de atenção
9	Zona crítica

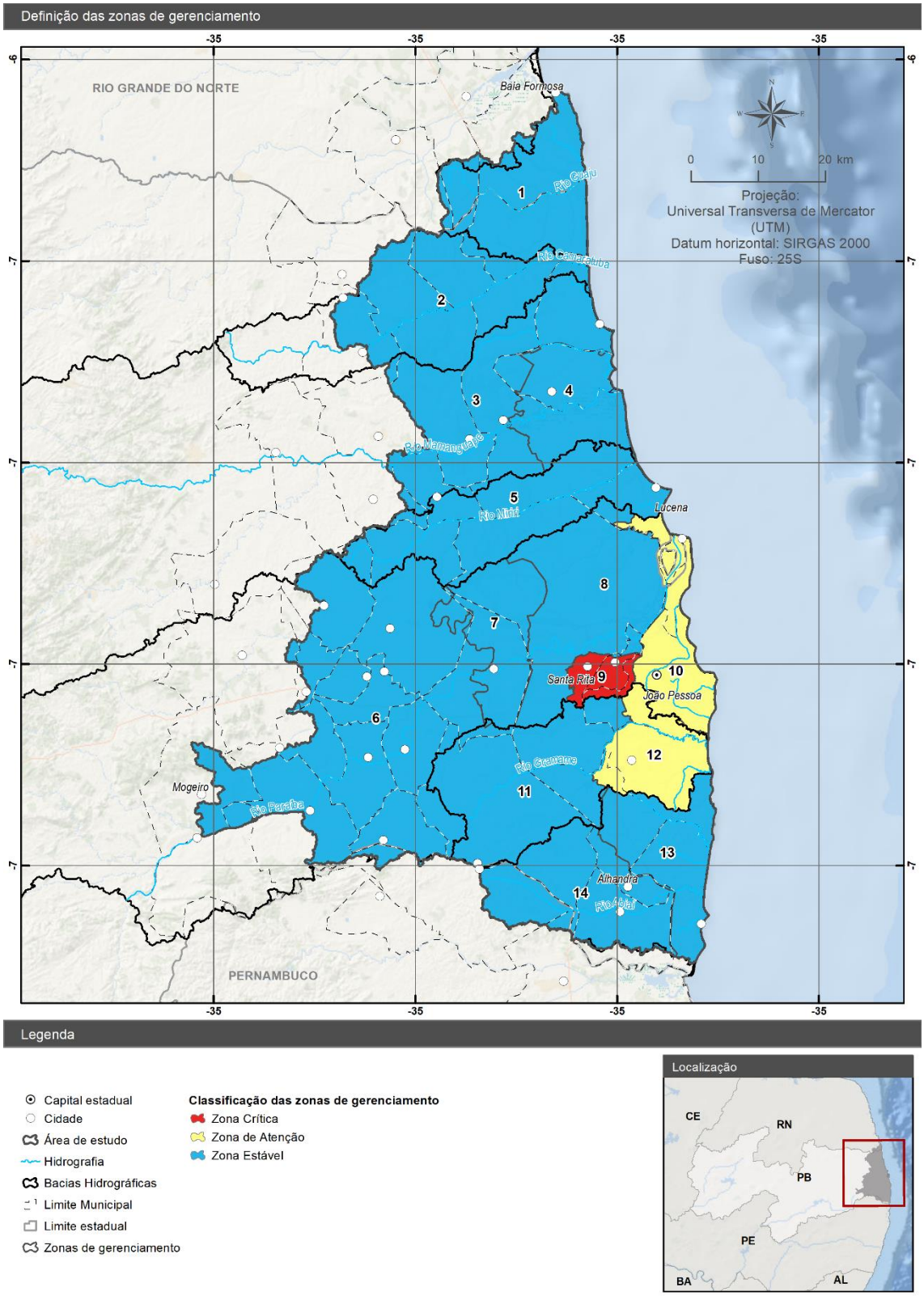


Figura 6.7 – Mapa da classificação das zonas de gerenciamento.

Observa-se no mapa das zonas de gerenciamento que a subzona 9 está classificada como zona crítica, indicando que essa subzona já se encontra acima do limite de estresse hídrico, o que impede que a disponibilidade hídrica atenda às demandas atuais. Para definir vazões sustentáveis a serem outorgadas nessa subzona, visando a preservação dos recursos hídricos subterrâneos, propõe-se que não seja permitida a perfuração de novos poços, salvo a expressa necessidade para abastecimento humano ou dessedentação animal.

As subzonas 10 e 12 também apresentam mananciais subterrâneos comprometidos, sendo classificadas na zona de atenção. Por esse motivo, sugere-se que novos poços sejam outorgados somente para usos prioritários, como abastecimento humano ou dessedentação animal. Para proteger os recursos hídricos subterrâneos, recomenda-se uma análise criteriosa dos pedidos de outorga para indústrias, devido ao grande volume de água necessário para o seu abastecimento.

As subzonas restantes, classificadas como zonas estáveis, podem receber outorgas de acordo com a vazão nominal do teste de bombeamento realizado no poço. Isso se deve ao fato de a relação entre demanda e disponibilidade hídrica não comprometer os mananciais subterrâneos nessas subzonas. Ao longo dos anos, podem ocorrer mudanças nesses fatores, como o aumento da demanda em decorrência da expansão urbana. Sendo assim, é necessário acompanhar as modificações no uso dos mananciais subterrâneos, visando sua preservação. Recomenda-se que, a cada 10 anos, seja realizado o reajuste da classificação de criticidade das zonas de gerenciamento.

6.4.2.4 Vulnerabilidade

O próximo critério a ser abordado é o de vulnerabilidade dos aquíferos da área de estudo, sendo este um dos elementos considerados por Costa (2009) na análise de concessão de outorga. A autora destaca que a vulnerabilidade é definida a partir das características intrínsecas dos sistemas de águas subterrâneas, dependendo da sensibilidade dos aquíferos aos impactos antrópicos ou naturais e em função de fatores hidrogeológicos. Dessa forma, o mapa de vulnerabilidade informa a classificação da área de estudo em relação à sua sensibilidade à contaminação.

O mapa de vulnerabilidade para a área de estudo (Figura 6.8) foi produzido no capítulo 4 – ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO, incluindo estimativas de potencial e disponibilidade das águas subterrâneas, com a aplicação do método de GOD. Poços localizados em regiões de extrema ou alta vulnerabilidade devem apresentar proteção

reforçada em toda a região suscetível à contaminação, buscando garantir que a água a ser explotada não esteja contaminada. Nas captações por poços tubulares nas regiões mais vulneráveis, classificadas como de vulnerabilidade alta a extrema, o tubo de proteção sanitária deve estender-se até 24 m de profundidade; em regiões de menor vulnerabilidade (áreas de média vulnerabilidade), esse revestimento deve atingir uma profundidade mínima de 12 m.

Em ambos os casos, o espaço anular entre o furo e a coluna de revestimento deve ter espessura mínima de 75 mm (3 polegadas), com a finalidade de preservar a qualidade das águas subterrâneas e protegê-las contra contaminantes. O espaço anular deve ser preenchido com calda de cimento, em operação contínua por meio de bombeamento da pasta de cimento. Deve-se aguardar a cura do cimento por 48 horas antes da continuidade da perfuração.

Os poços escavados (cacimbas ou cisternas) devem ser construídos em nível mais alto do terreno e a uma distância superior a 30,00 metros em relação a fossas sépticas, para evitar a contaminação das águas subterrâneas. O poço deve ter a parede acima do nível da água revestida com alvenaria ou anéis de concreto, com a extremidade situada a pelo menos 0,50 m acima da laje de proteção do poço, no nível do terreno. A parede deve ser circundada por uma laje de proteção em concreto, circular, com largura mínima de 1,00 m e espessura interna de 0,15 m e externa (borda) de 0,10 m. A tampa deve ser feita de concreto, composta preferencialmente por duas partes semicirculares que proporcionem boa vedação, e deve contar com orifícios de diâmetros adequados à instalação das tubulações da bomba.

Os poços tubulares devem ser dotados de hidrômetro para controle da vazão instantânea e total captada, além de uma torneira posicionada no cavalete do poço, após o hidrômetro, de modo a possibilitar a coleta da água bruta para análises hidroquímicas.

A localização do poço deve ser distante de possíveis fontes de contaminação, como fossas residenciais, condutos de esgoto, chiqueiros, plantações que utilizam agrotóxicos ou fertilizantes, lixões, cemitérios, tanques de armazenamento de combustíveis, entre outros.

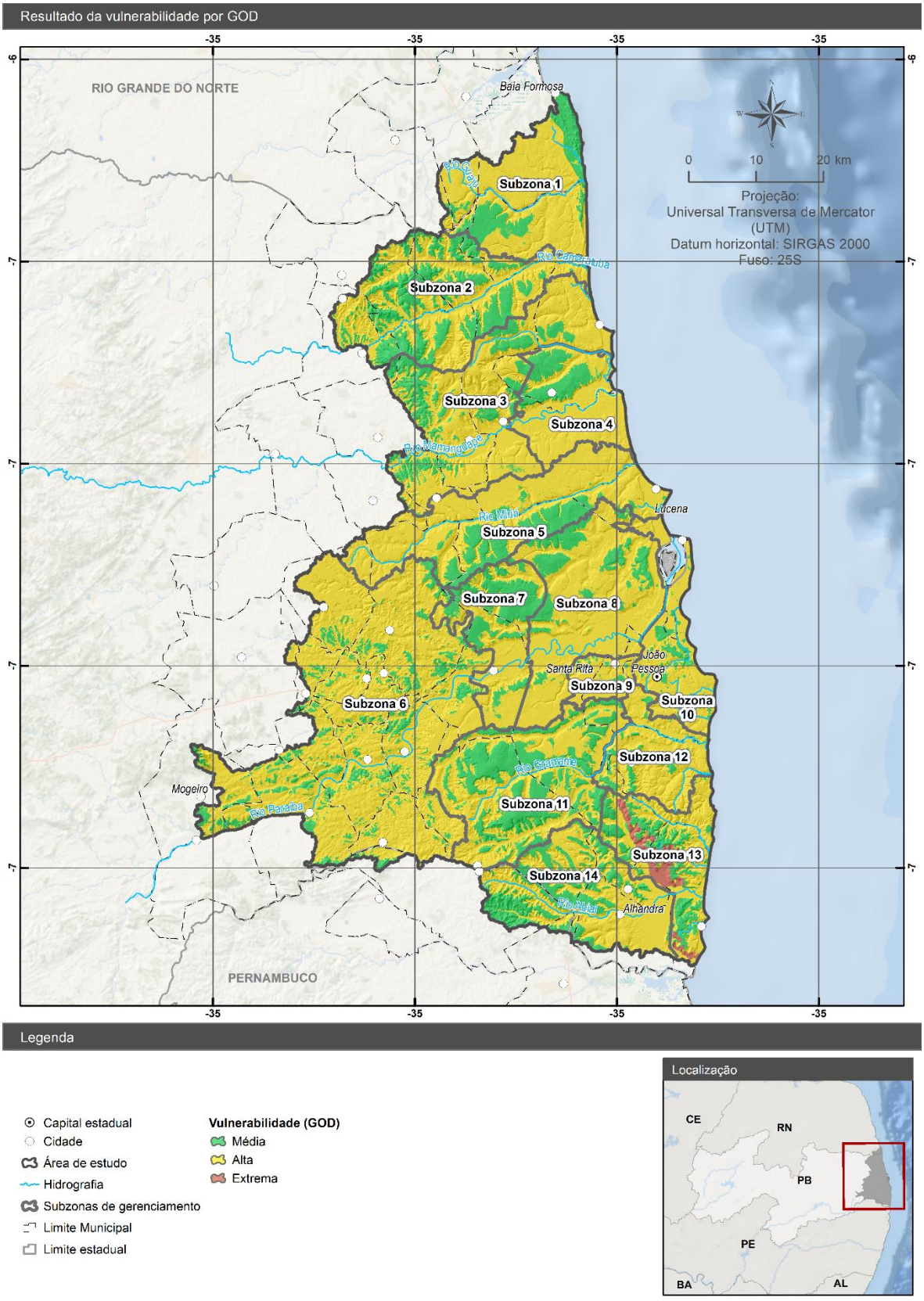


Figura 6.8 – Mapa de vulnerabilidade para o SAPP.

6.4.3 *Critérios de outorga em nível local*

No nível local, os objetos de estudo são os poços e as consequências de sua perfuração em determinados locais da bacia, considerando como critérios de outorga a qualidade da água, a interferência entre poços, o rebaixamento da superfície potenciométrica e a gestão da demanda. O critério de rebaixamento da superfície potenciométrica depende do monitoramento dos níveis dos poços para sua aplicação.

6.4.3.1 Qualidade da água

O trabalho de Medeiros (2012) analisou a qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do Rio Paraíba e concluiu que as águas subterrâneas são de boa qualidade; no entanto, já apresentam comprometimento devido a atividades antrópicas. Essa contaminação impede a utilização das águas para consumo humano sem tratamento adequado, como a desinfecção com cloro. Ressalta-se que, com o passar dos anos, há uma tendência de agravamento do comprometimento da qualidade das águas devido a atividades antrópicas.

Diante dessa realidade, torna-se essencial analisar a qualidade da água que será fornecida pelos poços. Um laudo de análise da qualidade da água será apresentado junto aos demais documentos para o requerimento da outorga. Nesse laudo, deverão ser analisados os parâmetros apresentados no Quadro 6.5, podendo outros parâmetros serem incluídos, caso necessário.

Quadro 6.5 – Parâmetros de qualidade para águas subterrâneas.

Grupo	Parâmetros
Físico-químicos	pH, Condutividade, Alcalinidade OH, Alcalinidade CO32-, Alcalinidade HCO3-, Turbidez, Dureza, STD, R. Seco 180°C
Microbiológicos	Escherichia coli, Bactérias Heterotróficas e Coliformes Totais.
Químicos inorgânicos	Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, Zn, F, Cl, NO2, Br, NO32-, SO42-, PO43-, HCO3-
Químicos orgânicos:	Acrilamida, Bentazona, 2,4-D, 2,4,6-Triclorofenol, Pentaclorofenol, Alacloro, Aldrin, Dieldrin, Atrazina, Benzo[a]pireno, a-Clordano, g-Clordano, 2,4'-DDT, 4,4'-DDT, Endrin, Endosulfan I, Endosulfan II, Endosulfan Sulfato, Heptacloro, Heptacloro epóxido A, Heptacloro epóxido B , Hexaclorobenzeno, Lindano (g-BHC), Metolacloro, Metoxicloro, Molinato, Pendimetalina, Permetrina, Propanil, Simazina, Trifluralina, Benzeno, Cloreto de Vinila, 1,2-Dicloroeteno, 1,1-Dicloroeteno, Cis 1,2-Dicloroeteno, Trans 1,2-Dicloroeteno, Diclorometano, Estireno, Etilbenzeno, Tetracloreto de Carbono, Tetracloroeteno, 1,2,3-Triclorobenzeno, 1,2,4-Triclorobenzeno, 1,3,5-Triclorobenzeno, Tricloroeteno, Tolueno, m + p-Xileno, o-Xileno, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano, Clorofórmio, Bromofórmio, Gifosato (mg/L)

Fonte: Adaptado de CETESB (São Paulo).

A qualidade da água do poço deverá respeitar a legislação em vigor e estar de acordo com os limites máximos permitidos, visando os usos pretendidos. Para o consumo humano, os padrões de qualidade são regidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021, enquanto para demais usos a Resolução Conama nº 396/2008 estabelece os critérios. Ambas as resoluções apresentam todos os parâmetros analisados, de acordo com os usos preponderantes da água e com os limites de quantificação aplicáveis. Os métodos de análise, conforme a legislação, devem ser definidos pelos laboratórios, respeitando os limites de quantificação para cada um dos parâmetros analisados.

Os laudos de qualidade da água devem ser realizados em laboratório cadastrado ou obtidos em campo, para os parâmetros que podem ser medidos *in situ*, utilizando equipamentos adequados. Além do laudo apresentado no momento da solicitação da outorga, será considerada como condicionante para a manutenção da outorga a apresentação de análises de qualidade da água subterrânea com frequência mínima anual, abrangendo os parâmetros listados na legislação em vigor, conforme o uso. A critério da AESA, alguns parâmetros poderão ser excluídos ou incluídos, dependendo das condições hidrogeológicas locais e das fontes potenciais de contaminação presentes no empreendimento.

6.4.3.2 Interferência entre os poços

A interferência entre poços é resultado do rebaixamento simultâneo que cada um dos poços em bombeamento provoca nos demais poços vizinhos, devido à expansão dos cones de depressão. Quando ocorre a interferência, há um aumento do rebaixamento nos poços e, consequentemente, uma diminuição do rendimento e perda de vazão. Esses processos de interferência são comuns em zonas urbanizadas com grande concentração de poços, como em João Pessoa.

Nos aquíferos confinados, os cones de depressão são pouco profundos e se estendem por longas distâncias, da ordem de quilômetros. Em contrapartida, nos aquíferos livres, o cone de depressão é menos extenso e mais profundo. O raio de interferência varia com o tempo e a taxa de bombeamento.

O raio de influência dos poços é definido a partir de parâmetros hidrodinâmicos obtidos nos testes de aquíferos, como condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento e porosidade efetiva. Os testes de aquífero consistem no bombeamento de um poço e no acompanhamento da evolução do rebaixamento e da recuperação em um ou

mais poços de observação, situados a uma distância conhecida em relação ao poço bombeado.

Na ausência de poços de observação, estimativas de transmissividade e condutividade hidráulica podem ser obtidas com testes realizados no próprio poço de bombeamento, considerando que esses valores representam um limite mínimo devido ao rebaixamento adicional provocado pelas perdas de carga não laminares. Entretanto, testes realizados no próprio poço de bombeamento não permitem estimativas do coeficiente de armazenamento e da porosidade efetiva.

Buscando determinar uma distância segura para minimizar a interferência entre poços de bombeamento, foram calculados raios de influência de poços nos aquíferos Beberibe e Barreiras, com base em parâmetros hidrodinâmicos de referência propostos por Costa et al. (2007), descritos no capítulo 4. O raio de influência foi calculado através da equação a seguir:

$$R = 1{,}5\sqrt{\frac{T * t}{S}}$$

Onde “R” é o raio de influência, “T” é a transmissividade, “t” é o tempo de bombeamento e “S” é o coeficiente de armazenamento ou porosidade efetiva.

Os valores dos parâmetros de transmissividade para os aquíferos Beberibe e Barreiras são, respectivamente, 0,0016 (m²/s) e 0,0017 m²/s. Já os valores dos coeficientes de armazenamento e porosidade efetiva dos respectivos aquíferos são 0,00015 e 0,05. Para os outros aquíferos não estão disponíveis os valores de coeficiente de armazenamento, impossibilitando o cálculo do seu raio de influência. O Quadro 6.6 mostra os raios de influência calculados considerando diferentes tempos de bombeamento.

Quadro 6.6 – Cálculo dos raios de influência para os aquíferos Beberibe e Barreiras.

Tempo de bombeamento (dias)	Raio de influência (m)	
	Aquífero Beberibe	Aquífero Barreiras
1	1.439	81
30	7.880	445
365	27.487	1.554

Observa-se no Quadro 6.6 que os raios de influência dos poços localizados nesses aquíferos variam de acordo com o tempo de bombeamento ao qual estão submetidos. O aumento do tempo de bombeamento provoca um incremento no raio de influência do poço. No Aquífero Beberibe, em condições de confinamento, o raio de influência se estende por longas

distâncias quando comparado ao do Aquífero Barreiras, de natureza livre. Além disso, essas interferências se somam onde há sobreposição dos cones, o que significa que esses raios podem ser ainda maiores.

Embora a equação utilizada para a estimativa do raio de interferência seja bastante simplista, os resultados apresentados no Quadro 6.6 demonstram que a aplicação desse critério para a outorga de poços deve ser orientativa, visto que os raios de interferência variam com o tempo, a vazão de bombeamento e a sobreposição dos cones.

Em função das características de cada tipo de aquífero, seja confinado, semiconfinado ou livre drenante, e do comportamento do fluxo subterrâneo – transitório (transiente) ou permanente (*steady state*) – existe uma grande quantidade de métodos de interpretação dos testes de aquífero, desenvolvidos por diversos autores e integrados a *softwares* de interpretação. A definição da melhor metodologia, assim como o cálculo do raio de influência dos poços, deve ser realizado por um profissional técnico responsável, devidamente habilitado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA).

Para a obtenção de outorga, é necessário que o usuário realize um teste de bombeamento no poço requerido. A partir da interpretação dos resultados desse teste, obtêm-se informações sobre as características hidrodinâmicas do aquífero e o raio de influência do poço. Neste estudo, recomenda-se um raio de influência mínimo de 1 km entre poços executados no Aquífero Beberibe confinado e de 250 m nos aquíferos livres.

Finalmente, para minimizar a interferência entre poços de bombeamento, as seguintes estratégias podem ser adotadas: manter um distanciamento adequado entre os poços para reduzir a interferência entre eles; reduzir a vazão dos poços; e monitorar os níveis de água dos poços, com foco nos rebaixamentos crescentes.

Adicionalmente, a partir da análise do cone de rebaixamento, pode-se identificar uma distância específica onde 80% dos efeitos do bombeamento já foram dissipados. Essa distância pode ser utilizada como referência para determinar o limite efetivo de influência prática, além do qual os impactos são consideravelmente reduzidos e podem ser tratados como desprezíveis no contexto operacional ou ambiental.

6.4.3.3 Rebaixamentos máximos permissíveis

O rebaixamento máximo “permissível” está atrelado à definição de uma cota de carga hidráulica considerada como um limite para a extração de água subterrânea em determinado local. A cota varia de acordo com o tipo de aquífero, apresentando limites diferentes para os sistemas livre e confinado. Para aquíferos confinados, o rebaixamento não deve ultrapassar a profundidade da base da formação geológica que o confina, evitando a compactação do aquífero e problemas relacionados à pressão nas reservas intersticiais. A cota de carga hidráulica pode ser estabelecida, no caso do aquífero confinado, no nível da base da unidade confinante Gramame (Figura 6.9). Como foi apresentado no capítulo 3.1 o aquitardo Gramame apresenta uma espessura média de 50 m, que pode atingir até 100 m. Dessa forma, deve-se identificar na Figura 6.9 em qual região do aquitardo o poço está localizado, e a sua respectiva espessura.

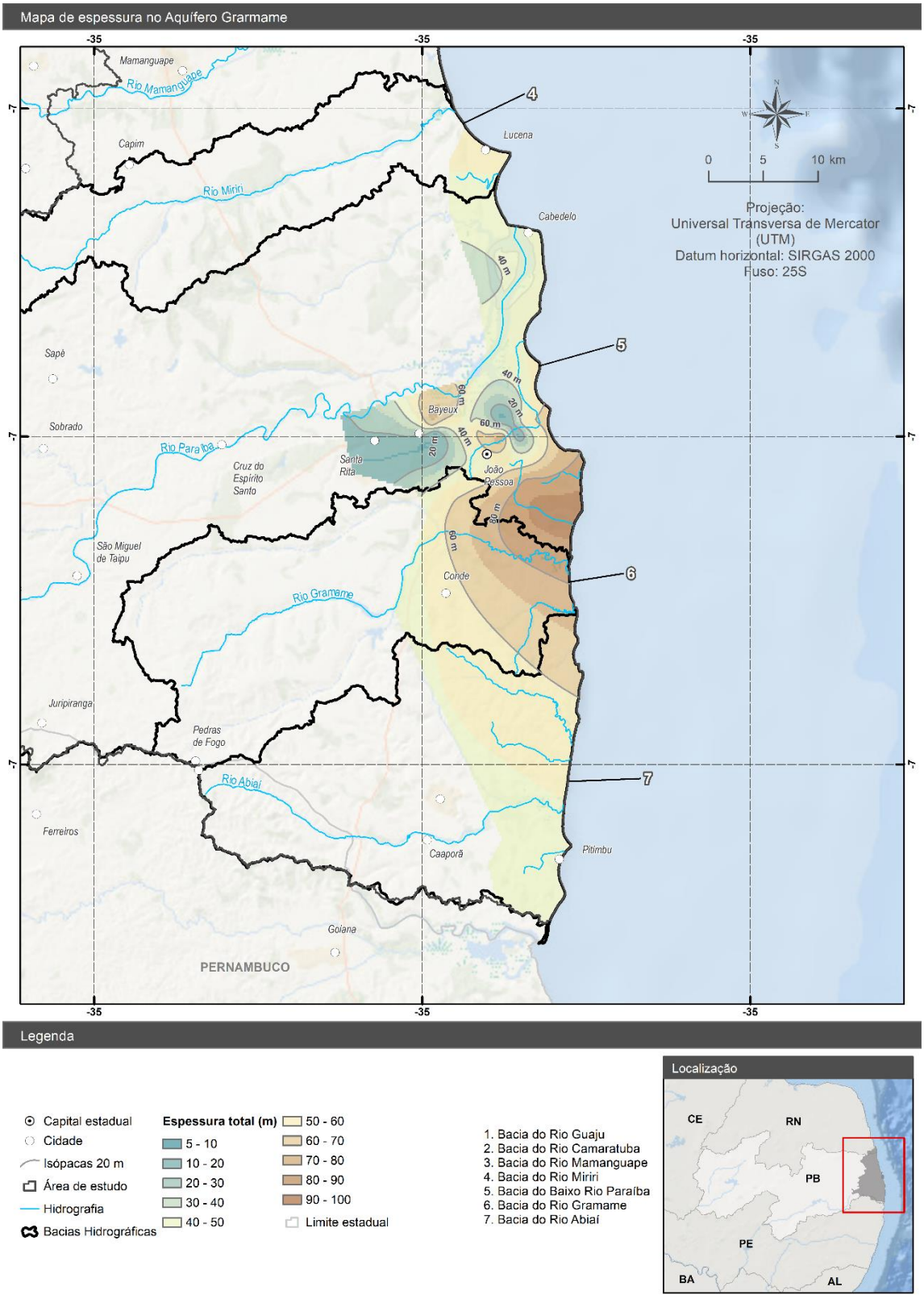


Figura 6.9 – Espessura do aquitardo Gramame.

Para o aquífero livre, a carga hidráulica deve ser monitorada sistematicamente, e os dados analisados criteriosamente. Caso haja uma tendência de depleção (rebaixamento contínuo dos níveis de água), as vazões devem ser ajustadas para equilibrar a extração com a recarga. É importante salientar que rebaixamentos expressivos ocorrem em zonas de grande concentração de poços, não se distribuindo de maneira uniforme por todo o aquífero. Dessa forma, não se deve definir uma carga hidráulica limite para o sistema livre.

O capítulo 5 desenvolveu as bases para a rede de monitoramento das águas subterrâneas do SAPP. Essa rede deve monitorar os níveis em poços sem bombeamento de forma sistemática, permitindo que a tendência de depleção seja analisada ao longo do tempo, com um olhar cuidadoso sobre os dados gerados pela rede.

6.4.3.4 Gestão da demanda

O Decreto Estadual n° 19.260/97 prevê em seu artigo 14 que todas as modalidades de outorga (cessão de uso, autorização de uso ou concessão de uso) estão condicionadas à comprovação de que o uso da água não cause poluição ou desperdício dos recursos hídricos. O desperdício dos recursos hídricos pode ser enfrentado a partir da gestão da demanda, que busca usar o recurso hídrico de maneira racional, evitando desperdícios. Dessa forma, para a obtenção da outorga, cada usuário será responsável por apresentar um plano informando as medidas que irá utilizar para evitar o desperdício e usar de maneira racional os recursos hídricos subterrâneos que lhe serão outorgados.

O plano deverá conter a seguinte estrutura: contextualização, área de estudo, sistema atual e medidas propostas. Na contextualização, deverão ser apresentados os assuntos que serão abordados no plano, com informações relevantes ao órgão gestor, como a descrição dos usos da água do poço em análise. No item “área de estudo”, deverão ser apresentados dados sobre o local onde está instalado o poço, como endereço, nome do proprietário, mapa de localização e croqui construtivo do poço.

No item “sistema atual”, deverá ser apresentado um croqui do sistema hidrossanitário no qual será utilizada a água do poço. O croqui deve ser completo e contemplar toda a tubulação que leva a água do poço até o seu local de utilização. Além do croqui, deverão ser apresentadas as possíveis fontes de desperdício, como vazamentos em conexões e junções (devido a peças danificadas ou desgastadas), tubulações corroídas ou danificadas (tubulações metálicas podem sofrer furos, rachaduras e impactos físicos do ambiente), bombas ineficientes (erro de dimensionamento ou vedação defeituosa), problemas de pressão (que causam vazamentos

em pontos fracos da tubulação, como válvulas ou conexões), defeitos em válvulas e conexões (mal posicionadas ou defeituosas), e fugas em pontos de consumo (torneiras, mangueiras e outros pontos finais que apresentem goteiras ou vazamentos), entre outras medidas específicas que poderão variar de acordo com a utilização da água.

Após a identificação dessas possíveis fontes de desperdício, o capítulo “medidas propostas” deverá detalhar as atividades eficientes no combate às fontes de desperdício identificadas, justificando a necessidade de sua implementação. As medidas propostas podem contemplar itens como: manutenção da rede (reparando problemas nas tubulações, válvulas e conexões), consertos nos equipamentos de bombeamento e controle do consumo por meio de leituras de hidrômetros, entre outras medidas que visem mitigar os desperdícios.

Costa (2009) traz um exemplo referente às concessionárias de abastecimento de água, que utilizam a água para abastecimento humano, onde as medidas propostas deverão conter ações preventivas e corretivas na tubulação de adução de água, visando reduzir as perdas por vazamentos e desperdício na rede de distribuição. Em complemento, para um usuário do setor industrial, a concessão de outorga estaria vinculada à apresentação de medidas de redução de desperdícios ou reuso da água. Já para a concessão de outorga de um usuário que deseja realizar a irrigação de sua propriedade, ela estaria vinculada à escolha do método de irrigação mais eficiente, evitando perdas de água.

As medidas devem ser acompanhadas por um cronograma, que representa o prazo de efetivação. No final do capítulo, deverá ser apresentada a quantidade de água que, após a implementação das medidas, não será mais desperdiçada. O plano deverá ser elaborado por um profissional responsável técnico da área, devidamente habilitado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA, apresentando a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do serviço anexada ao plano.

É importante ressaltar que a instalação de um instrumento medidor de vazão, chamado hidrômetro, diretamente na tubulação de captação de água pelo poço pode ser adotada como uma medida pelo órgão gestor, visando garantir que o usuário está utilizando somente a vazão que lhe foi outorgada.

6.4.3.5 Vazão insignificante

A vazão insignificante pode ser definida como o nível de bombeamento que resulta em impactos mínimos na dinâmica do aquífero e no rebaixamento do nível piezométrico,

garantindo que o raio de influência calculado seja irrelevante para a análise prática e que os efeitos cumulativos do bombeamento sejam desprezíveis em escala regional.

Entretanto, vale ressaltar que, mesmo que os poços apresentem vazões insignificantes, é necessário que sejam considerados no planejamento e nas análises, evitando lacunas no monitoramento.

6.4.3.6 Quadro resumo

Por fim, o Quadro 6.7 apresenta um resumo com os níveis, critérios e suas aplicações para a outorga de águas subterrâneas em cada uma das 14 subzonas, adaptado do modelo apresentando no trabalho de Costa (2009):

Quadro 6.7 – Resumo dos critérios aplicados em cada subzona.

Níveis	Critérios	SUBZONAS													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Global	Disponibilidade de água subterrânea	60% do potencial de água subterrânea disponível para explotação													
	Prioridade de uso de águas superficiais	Verificar a possibilidade de utilização de recursos superficiais em comparação com os subterrâneos													
Regional	Prioridade de uso da água	Prioridade para abastecimento humano e dessedentação de animais													
	Intrusão Salina	1km					-				1km	-	1km		-
	Disponibilidade da outorga em função das zonas de gerenciamento	Zona estável								Zona crítica	Zona de atenção	Zona estável	Zona de atenção	Zona estável	
	Vulnerabilidade	Média e alta												Média, alta e extrema	Média e alta
Local	Qualidade da água	Verificar a classe de qualidade da água e ao uso que se destina em função da legislação vigente													
	Interferência entre poços	1 km entre poços no Aquífero Beberibe confinado e de 250m nos aquíferos livres													
	Rebaixamentos máximos permissíveis	Verificar os rebaixamentos máximos permissíveis em função da carga hidráulica, de acordo com a vazão requerida para outorga.													
	Gestão da demanda	Exigir plano de ação ou contingência, buscando a redução de perdas e desperdícios, de acordo com o tipo de usuário													

Fonte: Adaptado de Costa (2009).
*Nas regiões próximas a costa litorânea.
**Considerando um regime de bombeamento de 8h/dia.

6.4.4 *Usos dispensados prévia licença*

Estão dispensados de outorga, todavia sujeitos a cadastramento, poços com as seguintes finalidades de uso:

a. Poços construídos com a finalidade de monitoramento de níveis e de qualidade da água subterrânea.

b. Poços com a finalidade de rebaixamento do lençol freático, desde que não haja aproveitamento da água decorrente do rebaixamento.

c. Poços utilizados para remediação de áreas contaminadas, sem uso do recurso hídrico.

d. Poços localizados em regiões litorâneas com a finalidade de fazer o controle da intrusão da cunha salina em direção ao continente.

e. Usos insignificantes com explotação de vazão a ser determinada pelo órgão gestor (AESA).

Para os poços dispensados de prévia licença, sujeitos a cadastramento, os usuários deverão apresentar o relatório de perfuração, a ART do responsável técnico pela empresa de perfuração e os laudos hidroquímicos.

6.4.5 *Condicionantes de renovação de outorga*

Recomenda-se que a renovação da outorga seja feita a cada 10 anos, por meio da entrega de todos os documentos solicitados pelo órgão gestor, conforme citado no item 6.2 de Procedimentos Gerais. A escolha do prazo máximo de 10 anos para a renovação da concessão de outorga baseia-se na legislação vigente (Decreto Estadual n° 19.260/97), que prevê um período no qual podem ocorrer mudanças significativas no uso do solo, bem como na demanda e oferta dos recursos hídricos da região.

Adicionalmente, o usuário deve realizar entregas anuais da análise da qualidade da água do seu poço. Os dados sobre a qualidade da água serão incorporados na rede de monitoramento proposta no capítulo 5 – PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA, por meio da análise hidroquímica da água, com base nos parâmetros citados no mesmo capítulo. O órgão gestor deverá confrontar os resultados

da análise da qualidade da água com o enquadramento proposto para as águas subterrâneas do poço, avaliando se a água está apta para o uso pretendido pelo usuário.

Destaca-se que não serão permitidas outorgas para poços que apresentarem a presença de metais pesados em suas análises de qualidade da água. Além disso, qualquer tipo de alteração no uso, qualidade ou quantidade de água explotada, que seja diferente do que foi concedido no pedido de outorga, deve ser encaminhado ao órgão gestor para reanálise.

6.4.6 *Poços desativados permanentemente*

Poços desativados permanentemente devem ser informados à AESA e avaliados para inserção na rede de monitoramento estadual, caso possuam condições adequadas. Essas condições podem ser avaliadas por meio de uma análise do poço, que considera seu estado atual, como o perfil do poço e a análise da qualidade da água. Se não atenderem às condições técnicas exigidas, os poços deverão ser tamponados definitivamente. O tamponamento compreende o preenchimento do poço com material inerte – areia, argila e/ou brita – e calda de cimento, a fim de evitar a penetração de água da superfície para o interior do poço. O procedimento de tamponamento deve ser realizado de acordo com as instruções da NBR 12.244.

No caso de poços contaminados, o tamponamento deve ser feito com preenchimento total por calda de cimento, do fundo do poço até a superfície do terreno. O processo de tamponamento deve ser documentado, fotografado e assinado por um responsável técnico habilitado perante o CREA, exigindo-se a emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

6.5 OBSERVAÇÕES FINAIS DAS DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA OUTORGA DO USO DA ÁGUA NA REGIÃO DO SAPP

O presente capítulo tem como objetivo servir como fonte técnica de informações para a elaboração de uma resolução do CERH-PB sobre a prévia licença de obras hídricas do tipo poço e a outorga do direito de uso de águas subterrâneas. Para isso, foram apresentados critérios construtivos para obras hídricas do tipo poço, com instruções e diretrizes para a perfuração, seguindo as NBRs existentes.

O usuário deverá entregar ao órgão gestor um relatório contendo informações sobre a localização do poço, o sistema aquífero presente, a bacia hidrográfica, a finalidade de uso da água subterrânea, o perfil construtivo do poço, o perfil litológico ao longo da profundidade do poço, o teste de bombeamento, a proteção sanitária, entre outros aspectos. Para a outorga, foram apresentados critérios embasados na literatura, através de estudos já realizados para regiões que contemplam a área de estudo. Esses critérios foram divididos em três categorias: nível global, regional e local.

No nível global, foram adotados critérios de disponibilidade de água subterrânea e uso prioritário de águas superficiais. No nível regional, foram considerados os critérios de usos prioritários da água, intrusão salina, disponibilidade de outorga em função das zonas de gerenciamento e vulnerabilidade. No nível local, os critérios de outorga incluem a qualidade da água, a interferência entre poços, o rebaixamento da superfície potenciométrica e a gestão da demanda.

Analisando os impactos dos critérios nas subzonas de gerenciamento, as subzonas 1, 2, 3, 4, 5, 10, 12 e 13 foram identificadas como mais suscetíveis à possível ocorrência de intrusão salina. A subzona 9 foi classificada como zona crítica, estando acima do limite de estresse hídrico, onde foi indicado que não deve ser permitida a perfuração de novos poços, exceto em casos de expressa necessidade para abastecimento humano ou dessedentação animal. Nas subzonas 10 e 12, que também apresentam seus mananciais subterrâneos comprometidos, propôs-se que a outorga de novos poços seja permitida apenas para usos prioritários, como abastecimento humano ou dessedentação animal.

Buscando proteger os recursos hídricos subterrâneos, recomenda-se uma análise criteriosa dos pedidos de outorga para indústrias, em função do grande volume de água necessário para seu abastecimento. Na subzona 13, onde está presente o aquífero Gramame (classificado como de vulnerabilidade extrema), foram recomendadas medidas mais conservadoras para proteger os poços contra possíveis fontes de contaminação.

No nível local, foram definidos critérios relacionados à qualidade da água, interferência entre poços, rebaixamentos máximos permissíveis e gestão da demanda. Também

foram propostas diretrizes sobre usos dispensados de outorga, condicionantes para renovação de outorga e para poços desativados permanentemente.

Por fim, a Figura 6.10 apresenta o fluxograma de procedimento de concessão ou deferimento de outorga conforme definido na minuta de resolução apresentada.

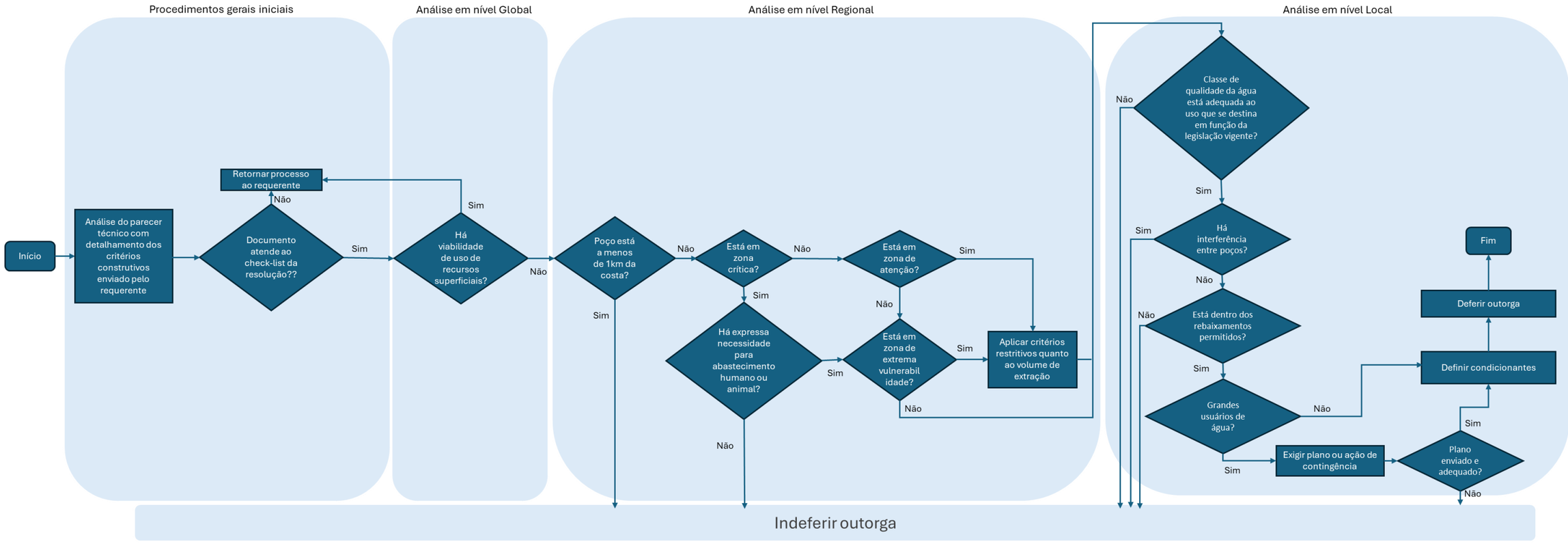


Figura 6.10 – Fluxograma de procedimento de concessão ou deferimento de outorga.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este documento consolida os resultados dos estudos realizados sobre o Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco (SAPP), abordando aspectos relevantes como estrutura, recarga, balanço hídrico e fluxo das águas subterrâneas. O estudo culmina em uma proposta de monitoramento quali-quantitativo e diretrizes para o uso sustentável da água, fundamentando a gestão dos recursos hídricos subterrâneos e promovendo a sustentabilidade em benefício das populações e ecossistemas locais. Os estudos trouxeram uma série de avanços científicos ao proporcionarem um levantamento extenso de dados e bibliografia, permitindo uma análise integrada do SAPP. Esses avanços foram organizados em uma série de temas específicos, e cada um deles apresentou uma contribuição significativa.

7.1 CAPÍTULO 2 - DIAGNÓSTICO

O estudo geológico da Bacia Paraíba, apoiado no mapeamento da CPRM (2004), resultou em avanços na compreensão das unidades litoestratigráficas e estruturas geológicas que compõem o sistema aquífero. Este mapeamento detalhado revelou a presença de estruturas lineares e blocos estruturais que influenciam diretamente a compartimentação dos recursos hídricos subterrâneos, especialmente nas zonas de cisalhamento do Pré-Cambriano. O detalhamento das sub-bacias de Alhandra e Miriri possibilitou uma análise aprofundada das sequências estratigráficas, revelando interações entre os depósitos sedimentares e indicando novas direções para investigações sobre o potencial hidrogeológico da região.

Na sequência, a análise geomorfológica trouxe uma compreensão geral das relações entre relevo e dinâmica hídrica na bacia. Utilizando mais de 1.200 km² de levantamentos georreferenciados e imagens de radar SRTM, o estudo detalhou o relevo e os padrões de drenagem, facilitando uma análise da influência das elevações no Planalto da Borborema sobre a recarga do aquífero. Com essa abordagem, identificaram-se zonas prioritárias para a recarga subterrânea, principalmente em vales que servem como zonas de descarga, contribuindo assim para uma gestão hídrica mais eficaz.

Além disso, a caracterização da vegetação e do uso do solo na área mostrou avanços na compreensão das interações entre atividades humanas e ecossistemas naturais. A

partir de um mapeamento atualizado com imagens de alta resolução (Sentinel-2 e Planet Scope), identificou-se a predominância das atividades agropecuárias, responsáveis por mais de 60% da ocupação da área. A preservação da vegetação remanescente mostrou-se essencial para a conservação dos mananciais e ecossistemas, enquanto o mapeamento detalhado fornece uma base para políticas públicas e estratégias de gestão territorial sustentável.

No aspecto demográfico, a análise populacional, com base nos dados do IBGE e nos índices de desenvolvimento humano (IDH-M e IGMA), revelou padrões que afetam diretamente a gestão de recursos hídricos. Observou-se que João Pessoa concentra as maiores densidades populacionais e demandas hídricas, destacando desigualdades regionais que exigem políticas de preservação e recuperação hídrica.

Para aprofundar a compreensão da hidrologia local, a caracterização do regime pluviométrico do SAPP o estudo integrou dados históricos das estações pluviométricas da AESA, INMET e ANA/CPRM. Este levantamento permitiu a criação de um mapa de isoietas que ilustra a distribuição espacial da precipitação, com identificação de padrões sazonais e aplicação de filtros matemáticos para separar escoamentos superficiais e subterrâneos nos hidrogramas. A hidrologia da região reflete sazonalidade climática, caracterizado por uma estação chuvosa concentrada entre março e agosto e uma estação seca de setembro a fevereiro, com fluxos de escoamento variáveis ao longo do ano e picos de recarga subterrânea associados aos meses mais chuvosos. O comportamento dos cursos d'água é influenciado pela variabilidade nas chuvas e pelas características do relevo, com rios intermitentes nas áreas mais secas e escoamento superficial mais constante nas áreas próximas ao litoral.

A análise das demandas hídricas concluiu que os municípios costeiros, especialmente João Pessoa, Bayeux e Cabedelo, dependem intensamente das águas subterrâneas, representando 56% da demanda na área de estudo. Além disso, o uso excessivo e inadequado dessas reservas foi identificado como um fator que impacta negativamente as vazões fluviais, reforçando a urgência de políticas de outorga que garantam um equilíbrio entre as necessidades antrópicas e a conservação dos recursos hídricos.

O levantamento hidrogeológico agregou ainda mais precisão ao identificar as unidades aquíferas do SAPP, detalhando limites e condições hidrodinâmicas dos aquíferos

Beberibe, Itamaracá e Barreiras. O uso de dados do SIAGAS, dados de poços, sondagens e testes de bombeamento permitiu uma análise das condições e interações dos aquíferos. A identificação dos domínios fissural e poroso, com as características específicas de cada unidade hidroestratigráfica, trouxe contribuições para o entendimento da geologia local e suas implicações na gestão de recursos hídricos. Além disso, o estudo destacou a importância das coberturas sedimentares e suas propriedades de infiltração e recarga para os aquíferos mais profundos, reforçando a complexidade do sistema hidrogeológico da bacia.

O diagnóstico integrado forneceu uma base científica sólida para os estudos desenvolvidos, contribuindo com subsídios essenciais para estratégias de gestão hídrica.

7.2 CAPÍTULO 3 – MODELO CONCEITUAL

No que tange a formulação de um modelo conceitual hidrogeológico do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco (SAPP), o estudo proporcionou um avanço no entendimento da dinâmica de fluxo e nas variáveis que determinam o comportamento hidrodinâmico da região. Esse modelo integra informações de campo, análises de diagnóstico e dados espaciais e históricos, culminando em uma representação simplificada, mas detalhada, dos processos de recarga e descarga, além da identificação de áreas críticas para a gestão de águas subterrâneas. O modelo conceitual se diferencia pela precisão com que os elementos do sistema são representados, fornecendo uma base sólida para análises futuras e desenvolvimento de modelos numéricos que visam a otimização da exploração e preservação hídrica.

Com relação à definição da área de ocorrência do Aquitardo Gramame e de seus limites, o estudo propôs uma delimitação das camadas confinantes e semiconfinantes, além de observar as oscilações dos níveis de água nos aquíferos livres e confinados. A determinação dos limites e características do Aquitardo Gramame representa um avanço substancial, pois fornece informações importantes para a compreensão da influência das condições climáticas e das atividades antrópicas sobre o sistema aquífero.

A compilação dos parâmetros hidrodinâmicos do SAPP envolveu uma análise detalhada dos limites físicos e das condições de recarga e descarga, destacando-se as áreas de maior favorabilidade para infiltração de águas pluviais. Essa análise utilizou técnicas de interpolação espacial e integrações de dados geoespaciais, o que possibilitou identificar as zonas de recarga com alta precisão, um aspecto fundamental para o direcionamento de ações de conservação e exploração sustentável dos recursos. Essa abordagem representa um avanço técnico na precisão de zoneamento do aquífero, permitindo uma gestão orientada pelas especificidades locais e uma otimização na alocação dos recursos hídricos.

A elaboração dos mapas potenciométricos dos subsistemas livre e confinado, e a análise das oscilações de níveis nos aquíferos, revelaram uma compreensão detalhada da estrutura de fluxo subterrâneo. Este mapeamento potenciométrico detalhado evidencia as direções de fluxo subterrâneo e a presença de áreas com condições de confinamento, fundamentais para a previsão de impactos devido à exploração intensa. Os resultados sugerem ainda que as retiradas excessivas de água em áreas urbanizadas podem reverter o gradiente hidráulico e potencialmente provocar intrusão salina, especialmente na zona costeira. Esses avanços podem embasar futuras políticas de exploração hídrica de forma mais sustentável, considerando os diferentes graus de vulnerabilidade do sistema.

A análise das interferências antrópicas, especialmente a partir da extração de água subterrânea, destaca a intensificação de impactos em regiões com alta densidade de poços. A influência da extração foi mapeada, identificando as regiões onde os rebaixamentos da superfície potenciométrica são mais pronunciados, evidenciando os riscos de exaustão de recursos hídricos e de contaminação devido ao avanço da cunha salina. Essa identificação é um avanço técnico-científico, pois possibilita uma visão detalhada das pressões humanas sobre o sistema aquífero, permitindo intervenções direcionadas para mitigar os efeitos negativos da exploração.

Sendo assim, o modelo conceitual apresentado no Capítulo 3 oferece uma compreensão aprofundada do SAPP, integrando variáveis hidrodinâmicas, geológicas e antropogênicas que interferem no sistema aquífero.

7.3 CAPÍTULO 4 – ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO

Esta etapa do trabalho objetivou a definição das zonas e subzonas de gerenciamento, bem como o cálculo das recargas, disponibilidades e balanços hídricos nessas áreas. Inicialmente, foi realizado o cálculo das recargas na região do SAPP, utilizando métodos específicos para os sistemas aquíferos livre e confinado. Para o aquífero livre, aplicaram-se os métodos da *Water Table Fluctuation* (WTF), o Balanço Hídrico do Solo com modelagem hidrológica e dados satelitais (GRACE); já para o aquífero confinado, utilizou-se o método das Taxas de Fluxo.

Os resultados para o sistema aquífero livre, obtidos pelos três métodos, mostraram uma forte convergência, com valores semelhantes. Na avaliação da porcentagem em relação à precipitação regional onde os métodos foram comparados, observou-se 15% para o WTF, 15,7% para o Balanço Hídrico e 16,2% para o GRACE. Em toda a área de estudo, o método do Balanço Hídrico calculou uma recarga média de 224 mm, correspondendo a 16% da precipitação anual. Essa convergência sugere que os valores estimados para a recarga refletem adequadamente a realidade local. Ainda assim, recomenda-se a continuidade do monitoramento dos níveis e aprimoramento dos dados utilizados nesses métodos, como o detalhamento da porosidade específica, a obtenção de níveis estáticos sem interferência de bombeamento, e o conhecimento aprofundado da litologia dos poços monitorados.

No caso do aquífero confinado, foi aplicada apenas uma metodologia, mas os valores obtidos estavam dentro da faixa esperada para esse tipo de sistema, que recebe recarga de forma indireta. A estimativa de recarga para toda a região do sistema confinado foi de 32.837.669 m³ por ano.

A definição das zonas e subzonas de gerenciamento contou com a colaboração de técnicos da AESA, que ofereceram contribuições baseadas nos critérios de recarga, vulnerabilidade, uso do solo, conexão com ecossistemas e densidade de poços para a outorga. A ponderação espacial desses critérios permitiu uma primeira delimitação das subzonas de gerenciamento. Ao sobrepor informações sobre as estruturas dos aquíferos, potenciais fontes de poluição, qualidade da água, limites de bacias e as zonas previamente estabelecidas pela ASUB, foram delineados os contornos das subzonas, confirmando os resultados da ponderação.

Na análise subsequente, foram calculados recarga, disponibilidade e balanço hídrico para cada subzona de gerenciamento. A disponibilidade foi definida como 60% da recarga, e o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) foi calculado tanto para a recarga quanto para a disponibilidade, proporcionando uma visão mais clara dos balanços hídricos no SAPP. Adicionalmente, foram calculados índices de sustentabilidade hídrica: o índice de ativação potencial (IAP), o índice de ativação das disponibilidades (IAD) e os índices de utilização das disponibilidades, máximo (IUDm) e ativado (IUDa).

Com base nos resultados do comprometimento hídrico, foi proposta uma nova regionalização, permitindo a agregação das subzonas em zonas de gerenciamento conforme o nível de comprometimento hídrico. Dessa forma, foram definidas três zonas com diferentes níveis de criticidade: Estável, de Atenção e Crítica.

Em relação ao comprometimento hídrico baseado na disponibilidade, a subzona 9, localizada em uma área de transição entre os sistemas aquíferos livre e confinado, apresentou ICH Muito Alto, sendo classificada como crítica. As subzonas 12 e 10, situadas no sistema confinado e incluindo a área urbana de João Pessoa, exibiram ICH Alto, indicando a necessidade de maior atenção devido à intensa captação de águas subterrâneas. As subzonas 5, 8 e 11, situadas no sistema aquífero livre e fora da área urbana, apresentaram ICH Baixo e foram classificadas como de Atenção, pois não apresentaram um índice Muito Baixo. As demais subzonas mantiveram níveis confortáveis de ICH, caracterizando-se como Muito Baixo e, portanto, compondo a zona Estável.

7.4 CAPÍTULO 5 – PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Este capítulo apresentou a proposta de “Elaboração de Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas do Estado da Paraíba”. A estruturação da rede de monitoramento quali-quantitativa do SAPP baseou-se no trabalho dos capítulos anteriores e foi desenhada como uma rede regional com o objetivo de coletar informações sobre qualidade e quantidade de águas subterrâneas. A rede foi planejada para implantação em três instâncias: poços da rede inicial, poços de dedicação exclusiva e poços da rede flutuante.

Inicialmente, foram aproveitados poços já perfurados e desativados para a rede inicial, que foram avaliados *in loco* para assegurar viabilidade estrutural e sanitária. A rede de dedicação exclusiva, com poços a serem perfurados exclusivamente para monitoramento, teve sua localização planejada em áreas com estações hidrometeorológicas ativas. Já a rede flutuante consistirá em poços outorgados cuja manutenção dos dados será obrigatória, embora sem controle direto da AESA. Ao todo, propõe-se a inclusão de 52 pontos de monitoramento, com 37 poços existentes e 15 a serem perfurados, cobrindo tanto os subsistemas livre quanto confinado.

A rede foi planejada para ser dinâmica, permitindo ajustes em função da intensificação da explotação dos aquíferos, aumento de estresse hídrico e disponibilidade de recursos financeiros. A expansão progressiva da rede será uma atividade contínua, com novos pontos adicionados conforme a análise dos resultados. Devido ao custo e complexidade, a implantação gradual da rede foi recomendada. A seleção dos locais para poços de dedicação exclusiva nas zonas de gerenciamento seguiu critérios de vulnerabilidade, fontes de contaminação e intensidade de explotação, priorizando as subzonas 8, 10 e 11 para monitoramento da qualidade e quantidade de água subterrânea do SAPP.

O plano de monitoramento define objetivos e etapas de implementação, incluindo parâmetros de medição e periodicidade de coleta. Cada poço conterá três sensores para monitorar nível (pressão), temperatura e condutividade, devido à viabilidade desses itens para medição automática. A coleta de dados quantitativos, planejada para medir níveis estáticos dos poços a cada 1 hora, será automatizada com Unidades Terminais Remotas (UTR) que enviam dados via GPRS para a nuvem, utilizando tecnologia IoT.

Além dos parâmetros automáticos de nível, temperatura e condutividade, parâmetros adicionais de qualidade da água serão medidos manualmente a cada seis meses. Caso a condutividade apresente alterações, a frequência de amostragem será semanal até a estabilização dos parâmetros. Estudos prévios de qualidade no SAPP avaliaram um número limitado de parâmetros, insuficientes para representar as características hidroquímicas da área.

7.5 CAPÍTULO 6 – DIRETRIZES E CRITÉRIOS PARA OUTORGA DO USO DA ÁGUA NA REGIÃO DO SAPP

Os levantamentos relacionados a esta etapa do trabalho visaram o fornecimento de uma base técnica para a elaboração de uma resolução do CERH-PB com diretrizes e critérios para a outorga de uso de águas subterrâneas na região do SAPP. Apresentaram-se critérios construtivos para obras de poços, com diretrizes para a perfuração conforme as NBRs vigentes.

Os critérios para outorga foram divididos em três níveis: global, regional e local, com base na literatura e em estudos aplicados à área de estudo. No nível global, foram estabelecidos critérios de disponibilidade de água subterrânea e priorização de águas superficiais. No nível regional, foram considerados critérios de uso prioritário da água, intrusão salina, disponibilidade de outorga conforme zonas de gerenciamento e vulnerabilidade. No nível local, a outorga leva em conta a qualidade da água, interferência entre poços, rebaixamento da superfície potenciométrica e gestão da demanda.

As subzonas 1, 2, 3, 4, 5, 10, 12 e 13 foram identificadas como suscetíveis à intrusão salina. A subzona 9 foi classificada como zona crítica e está acima do limite de estresse hídrico. Recomendou-se restringir a perfuração de novos poços, exceto em casos de necessidade para abastecimento humano ou dessedentação animal. Nas subzonas 10 e 12, onde os mananciais estão comprometidos, sugere-se que novos poços sejam permitidos apenas para usos prioritários.

Para proteger os recursos subterrâneos, é recomendada uma análise rigorosa dos pedidos de outorga para indústrias, devido ao grande volume de água que consomem. Na subzona 13, onde se encontra o aquífero Gramame (de vulnerabilidade extrema), foram sugeridas medidas conservadoras para evitar contaminações.

No nível local, foram definidos critérios para a qualidade da água, interferência entre poços, rebaixamentos máximos e gestão da demanda. Além disso, estabeleceu-se diretrizes para usos isentos de outorga, condições para renovação de outorga e para poços desativados permanentemente.

A minuta da resolução que contempla os critérios definidos foi elaborada e está sendo entregue junto a este documento no capítulo de anexos.

8 REFERÊNCIAS

ABELS, A.; FREITAS, M.; PINNEKAMP, J.; RUSTEBERG, B. 2017. BRAMAR Project: Water Scarcity Mitigation in North-East Brazil. https://www.researchgate.net/publication/339600215.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 12.212: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1997. NBR 13895 Construção de poços de monitoramento e amostragem.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2006. NBR 12.244: Poço tubular – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006.

ACCIOLY, A.C.A. 2000. Geologia, Geoquímica e Significado Tectônico do Complexo Metanortosítico de Passira – Província Borborema – Nordeste Brasileiro. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 224 p.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. 2022. Atualização do plano estadual de recursos hídricos da Paraíba. Disponível em http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/plano-estadual/atualizacao-perh/.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. 2016. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH-PB. AESA, João Pessoa-PB.

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. 2006. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH-PB. Resumo executivo e atlas. AESA, João Pessoa-PB.

AGERH. AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESPÍRITO SANTO. PERH-ES. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo. Produto 8 | Relatório Técnico sobre Balanço Hídrico. [*S. l.: s. n.*], 2017.

ALBUQUERQUE, J. P. T.; RÊGO, J. C. Subsídios para o gerenciamento racional e integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado da Paraíba. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XIII,1999, Belo Horizonte. Anais Belo Horizonte: ABRH, 1999, 1 CD.

ALBUQUERQUE, J.P.T., CEBALLOS, B.S.O., RÊGO, J.C., BARBOSA, D.L., RIBEIRO, M.M.R., SOUZA, J.A., GALVÃO, C.O. 2011. Proposta para o monitoramento das águas subterrâneas da bacia sedimentar costeira da Paraíba. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ANAIS. 1-17.

ALLISON, G. B.; COOK, P. G.; BARNETT, S. R.; WALKER, G. R.; JOLLY, I. D.; HUGHES, M. W. Land clearance and river salinisation in the western Murray Basin, Australia, Journal of Hydrology, Volume 119, Issues 1–4.1990.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2004. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Subprojeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco -PBHSF (2004-2013). 106 p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2005a. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília. Cadernos de Recursos Hídricos. 134 p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2005b. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília ANA, SPR. 176 p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2013a. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasil. ANA. 432 p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2013b. Mapeamento das Áreas Aflorantes dos Aquíferos e Sistemas Aquíferos do Brasil, escala 1:1.000.000. Gerência de Águas Subterrâneas (GESUB) da Agência Nacional de Águas.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2017a. Base Hidrográfica Ottocodificada. Brasília DF.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2017b. Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada. Elaboração e Execução: Consórcio Engecorps - Walm. – Brasília. 173p. il.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2017c. Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos na Região Hidrográfica do São Francisco com Vistas à Gestão Integrada e Compartilhada de Recursos Hídricos. Relatório Final – Relatório Técnico - BALANÇO HÍDRICO. Consórcio PROJETEC – TECHNE – Brasil: ANA, SIP, 189 p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2018. Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA. Elaboração e Execução: Profill Engenharia e Ambiente S.A – Brasília. 128 p. il.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2019a. Massas d'água. Brasília DF.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2019b. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília DF.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2021a. Atlas Águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília, DF: 2021.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2021b. Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada (2ª edição). Brasília, DF: 2021.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2022. Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água no Brasil - Atualização de 2022. Brasília, DF. 2022.

ANM. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE). 2023.

ASHBOLT, N. J.; GRABOW, W. O. K.; SNOZZI, M. Indicators of microbial water quality. In: Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Edited by Lorna Fewtrell and Jamie Bartram. World Health Organization. IWA Publishing. p. 289-316. 2001.

ASUB. Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a Gestão das águas Subterrâneas. 2009. Relatório Técnico Parcial nº 1. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande.

BAPTISTA, V. S. G. Performance of different configurations of rooftop rainwater harvesting used for managed aquifer recharge: a stormwater management approach in an urbanized area. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 134p, 2020.

BARBEDO, R.; COLLISCHONN, W.; LAIPELT, L.; MATTE, G.; OLIVEIRA, R. Manual de Aplicação - BHO2MGB. Porto Alegre: [*s. n.*], 2022.

BARBOSA, J. A. Evolução da Bacia Paraíba durante o Maastrichitano-paleoceno-formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

BARBOSA, J. A.; LEMOS, L. B. S. G. Fosfato de Miriri, estados de Pernambuco e Paraíba. 2001.

BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. Os domínios da Bacia da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2005. p. 287-306.

BARBOSA, J. A.; NEUMAN, V. H.; LIMA FILHO, M.; SOUZA, E. M. de; MORAES, M. A. de. Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. Estudos geológicos, v. 17, n. 2, p. 3-30, 2007.

BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. Estudos Geológicos, Recife, 13: 89-108.

BARBOSA, J. S. F.; SABATÉ, P.; MARINHO, M. M. O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese. 2003.

BARNES, B. S. The structure of discharge-recession curves. Transactions, American Geophysical Union, v. 20 (4), p. 721 - 725, 1939.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E; CARVALHO, G. R. M.; SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água: alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. Anais... Rio de Janeiro: ABES/AIDIS, 2000.

BATISTA, M. L. C.; REGO, J. C.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. P. T. 2010. Modelagem do Fluxo Subterrâneo na Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do Rio Paraíba como Subsídio à Gestão de Recursos Hídricos. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.3 - Jul/Set 2011, 163-175.

BEURLEN, K. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 16, n. 1, p. 43-53, 1967.

BEZERRA, F. H. R.; BRITO NEVES, B. B.; CORRÊA, A. C. B.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin—the Cariatá trough, northeastern Brazil. Geomorphology, v. 97, n. 3-4, p. 555-582, 2008.

BRAGA, A. C. R. 2014. Avaliação da potencialidade hídrica subterrânea e proposta para metodologia de outorga em uma região da bacia sedimentar costeira do baixo curso do rio Paraíba. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

BRAGA, A. C. R. *et al.* Avaliação de critérios para outorga de águas subterrâneas. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, v. 22, 2017.

BRAGA, A. C. R.; RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O. Variação intra-sazonal da potencialidade hídrica subterrânea e sua influência na outorga. Revista brasileira de recursos hídricos, v. 20, n. 3, p. 647-656, 2015.

BRASIL. CNRH. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução, Nº. 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas.

BRASIL. Decreto Estadual n° 19.258, de 31 de outubro de 1997. Dispõe sobre a regulamentação do controle técnico das obras e serviços de oferta hídrica e dá outras providências. Diário Oficial da Paraíba, 31 de outubro de 1997. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/DECRETO_15.pdf>. Acesso em: julho 2024.

BRASIL. Decreto Estadual n° 19.260, de 31 de outubro de 1997. Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos da Paraíba. Diário Oficial do Estado da Paraíba, 31 de outubro de 1997.

BRASIL. Decreto n° 26.224, de 2005. Dispõem sobre a Regulamentação e a Estrutura Básica da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e determina outras providências. Diário Oficial do Estado da Paraíba, 15 de setembro de 2005.

BRASIL. Lei n° 7.779, de 2005. Dispõe sobre a criação da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e dá outras providências. Diário Oficial do Estado da Paraíba, 07 de julho de 2005.

BRASIL. Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art, v. 21, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: julho 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para

consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 maio 2021.

BRASIL. MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 396, de 03/04/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRASIL. MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Painel de Unidades de Conservação Brasileiras. 2019. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNmZTA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDJlNzFkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJiMjY6YmY4YTYxYjMtNjZlMC00ZThhLTllNTItZWIyYmJmODNkNWUzMyIsImMiOjF9. Acesso em: ago. de 2023.

BRASIL. MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente Programa Água Doce. 2010.

BRASIL. MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos. Desenvolvimento de matriz de coeficientes técnicos para recursos hídricos no Brasil: relatório final dos coeficientes técnicos de recursos hídricos das atividades industrial e agricultura. [S.l.: s.n.], 2011.

BRASIL. MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Brasília, DF.

BRASIL. MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA). Diretriz Nacional do Plano de Amostragem do Vigiagua. 2016.

BRASIL. Novo Código Florestal. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. http://portal.in.gov.br/

BRITO NEVES, B. B.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; COUTINHO, J. M. V.; BEZERRA, F. H. R. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). Geologia USP. Série Científica, v. 9, n. 2, p. 63-87, 2009.

BRITO NEVES, B. B.; RICCOMINI, C.; FERNANDES, T. M. G.; SANT'ANNA, L. G. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado Proterozóico. Revista Brasileira de Geociências, v. 34, n. 1, p. 127-134, 2004.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: CORDANI, U.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Eds.), Tectonic Evolution of South America: Proceedings of the 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 151–182.

CARNIER NETO, D. 2006. Análise das Séries Temporais de Monitoramento de Nível d'Água em Poços no Aquífero Rio Claro, (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro (SP). 88 p.

CARNIER NETO, D., & CHANG, H. K. 2008. Aplicação do método de flutuação de nível d´água para a estimativa de recarga - Exemplo do Aquífero Rio Claro. Águas Subterrâneas, 22(1). https://doi.org/10.14295/ras.v22i1.8177.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2017. Decisão de Diretoria nº 038/2017/C. Dispõe sobre a aprovação do "Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas", da revisão do "Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas" e estabelece "Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental", em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo. (2022). Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das Águas Subterrâneas. Boletim 2020. Governo de São Paulo.

CETESB-ANA. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. Organizadores: Carlos Jesus Brandão *et al.* São Paulo: CETESB; Brasília: ANA.

CHAPMAN, T. G. Comment on 'Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses' by R. J. Nathan and T. A. McMahon.1991. Water Resources Research. V.27. p.1783–1784.

CHAPMAN, T. G.; MAXWELL, A. I. Baseflow separation – Comparison of numerical methods with tracer experiments.1996. In: Hydrological and Water Resources Symposium, Institution of Engineers Australia, Hobart. p. 539–545.

COELHO, V. H. R. 2011. Monitoramento e análise da variação do nível d´água para estimativa da recarga do aquífero livre da bacia do rio Gramame – PB. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 147p.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. Hydrological Sciences Journal, [*s. l.*], v. 52, n. 5, p. 878–895, 2007.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter. Hydrological Processes, v.27, n.18, p. 2614-2622, 2013.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo Hidrologia. 6 ed. IPH UFRGS, 2008. 274 p.

COSTA – Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. 1999. Plano diretor dos recursos hídricos da bacia do rio Mundaú. Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Irrigação. Maceió. Alagoas. 746 p.

COSTA, M. L. M. Estabelecimento de Critérios de Outorga de Direito de Uso para Águas Subterrâneas. 2009. [*s. l.*], 2009.

COSTA, M. L. M.; RIBEIRO, M. M. R.; RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T. Proposição de critérios de outorga para águas subterrâneas. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2011.

COSTA, W. D. 2006. Diagnóstico preliminar sobre as condições de captação de água subterrânea na Bacia Sedimentar Costeira do Estado da Paraíba. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-estrutura Hídrica. Brasília-DF.

COSTA, W. D.; DE ALBUQUERQUE, J. do P. T.; BRANCO, R. L. de C.; MARANHÃO, C. M. L.; GOLDFABER, M. 2007. Estudo de caracterização e verificação da disponibilidade hídrica da vertente litorânea do Estado da Paraíba. Estudos Hidrogeológicos, Relatório Final, 125p.

COUTINHO, J. V.; ALMEIDA, C. N.; GADELHA, C. L. M.; TARGINO, D. F.; LINHARES, F. M.; COELHO, V. H. R. Avaliação Integrada da Qualidade da Água Subterrânea em uma Bacia Hidrográfica Representativa do Litoral da Região Nordeste do Brasil. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.4 –Out/Dez 2013,197-212.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Brasília: CPRM, 2004. Escala 1: 1.000.000. Programa Geologia do Brasil.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2008. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ª Ed CPRM, FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Coords). 812p.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2011. Levantamento da geodiversidade: projeto atlas pluviométrico do Brasil: isoietas anuais médias: período 1977 a 2006.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2019. Mapa Hidrogeológico do estado da Paraíba. Escala 1:500.000. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 18 (4), 197-2012.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em:

<https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600008453>. Acesso em: 15 maio. 2024.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. 1996. Hidrologia Subterrânea. 2ed. Barcelona: Omega. 2 tomos.

DAEE-SP. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Manual de Operação e Manutenção de Poços. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%208/Manual_Pocos_DAEE.pdf. 2007.

DAGAN, G., BEAR, J., 1968. Solving The Problem of Local Interface Upconing in A Coastal Aquifer by the Method of Small Perturbations. Journal of Hydraulic Research 6, 15–44. doi: 10.1080/00221686809500218.

DE VRIES, J. J.; SIMMERS, I. Groundwater recharge: An overview of process and challenges. Hydrogeology Journal, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. 5–17, 2002.

DELIN, G. N.; HEALY, R. W.; LORENZ, D. L.; NIMMO, J. R. Comparison of local- to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA. Journal of Hydrology, [*s. l.*], v. 334, n. 1–2, p. 231–249, 2007.

DELIN, G. N.; RISSER, D. W. Ground-Water Recharge in Humid Areas of the United States — A Summary of Ground-Water Resources Program Studies , 2003-06. [S. l.: s. n.], 2007.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. C.; PAULA, T. L. F. Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo. Recife: [*s. n.*], 2014.

DRISCOLL, F. G. 1986. Groundwater and Wells, 2nd Edition.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. An Experimental Investigation of Runoff Production in Permeable Soils. Water Resources Research, [*s. l.*], v. 6, n. 2, p. 478–490, 1970.

DWR. CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES. 2003. Basic groundwater concepts. Bulletin n.246. p.

EBERTS, S. M.; GEORGE, L. L. 2000. Regional Ground-Water Flow and Geochemistry in the Midwestern Basins and Arches Aquifer system in Parts of Indiana, Ohio, Michigan, and Illinois. U.S. Geological Survey Professional Paper 1423-C.

ECKHARDT, K. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. 2008.Journal of Hydrology, v.352. p. 168-173.

ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. 2005. Hydrological Processes, v.19. p. 507-515.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ESRI. ArcGIS Living Atlas. 2022. Disponível em: https://livingatlas.arcgis.com/landcover/. Acesso em: ago. de 2023.

EUROPEAN COMMISSION. 2004. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Groundwater Monitoring. Technical report on groundwater monitoring as discussed at the workshop of 25th June 2004. Version 0.5.13.12-2004.

EUROPEAN COMMUNITIES. 2007. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No15. Guidance on Groundwater Monitoring. Technical Report – 002 – 2007. 2007. Luxemburgo: European Communities, 52p.

FABHAT. FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. 2016. Relatório – I: Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06. Ano Base 2016/2035. São Paulo. 257 p.

FAN, F.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 243–254, 2014.

FAUTH, G.; KOUTSOUKOS, E. A. M. 2002. Paleoecological inferences from marine ostracode assemblage of the Maastrichtian and Danian in the Pernambuco-Paraíba Basin. in: 6o Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e 2o Simpósio sobre el Cretácico de América Del Sur. São Pedro, São Paulo, Boletim de resumos, 1: 261-265.

FEITOSA, E. C. *et al.* 2008. HIDROGEOLOGIA - Conceitos e Aplicações. Título. CDD 551.49. ISBN 978-85-7499.

FERNANDES, L. A. 2017. Aplicação do método WTF para estimativa da recarga do aquífero livre da região da bacia do rio Gramame e do baixo curso do rio Paraíba, PB. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB. 142p.

FETTER, C. W. 2001. Applied Hydrogeology. 4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2, 8.

FIRJAN. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal – IFDM. 2016. Disponível em: https://www.firjan.com.br/ifdm/. Acesso em: set. de 2023.

FORCHHEIMER, P. Hydraulik. 3° Edição Berlin: [*s. n.*], 1930.

FOSTER, S. S.; HIRATA, R. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), [*s. l.*], 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea - um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, [*s. l.*], 2002.

FRAPPART, F.; RAMILLIEN, G. Monitoring Groundwater Storage Changes Using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Satellite Mission: A Review. Remote Sensing, [*s. l.*], v. 10, n. 6, p. 829, 2018.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. 1979, Groundwater: Prentice-Hall, Inc., ISBN 0-13-365312-9, 604 p.

FUNAI. FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. Terras Indígenas. 2019.

FURRIER, M.; DE ARAÚJO, M. E.; DE MENESES, L. F. Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. Geologia USP. Série Científica, v. 6, n. 2, p. 61-70, 2006.

GAO, H.; FENICIA, F.; SAVENIJE, H. H. G. HESS Opinions: Are soils overrated in hydrology? Hydrol. Earth Syst. Sci., [*s. l.*], n. February, p. 1–24, 2023.

GLOVER, R. E. 1959. The pattern of fresh-water flow in a coastal aquifer. J. Geophys. Res. 64: 457-459.

GOMES, L. H. 2008. Determinação da recarga profunda na bacia-piloto do Ribeirão da Onça em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de balanço hídrico em zona saturada. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

GOPINATH T. R.; COSTA C. R. S.; JÚNIOR M. A. S. 1993. Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15. Atas. Natal: SBG/Núcleo Nordeste. 1: 47-48p.

HEALY, R. W. 2010 Estimating Groundwater Recharge. Cambridge University Press, Cambridge.

HEALY, R. W. Estimating Groundwater Recharge. [*S. l.*]: Cambridge, 2010.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. 91–109, 2002.

HEM, J. D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 3°edição.

HUANG, J.; PAVLIC, G.; RIVERA, A.; PALOMBI, D.; SMERDON, B. Mapping groundwater storage variations with GRACE: a case study in Alberta, Canada. Hydrogeology Journal, [*s. l.*], v. 24, n. 7, p. 1663–1680, 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2022. 2022. Disponível em:

https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html. Acesso em: set. de 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto (PIB). 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php. Acesso em: set. de 2023.

IG. INSTITUTO GEOLÓGICO. Roteiro Orientativo para delimitação de área de proteção de poço. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2015/06/roteiro-orientativo_2edicao_2012.pdf. 2012.

INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Quilombos. 2019.

INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO. PRH-BIG. Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. [*S. l.: s. n.*], 2020.

INEMA. INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA. PRH-RNI. Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio Paraguaçu e do Recôncavo Norte e Inhambupe. [*S. l.: s. n.*], 2018.

JACOB, C. E. Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Transactions, American Society of Civil Engineers, v. 112, p. 1047-1064, 1947.

JACOB, C. E. Flow of ground water. In: ROUSE, H. (Ed.). Engineering Hydraulics. New York: John Wiley & Sons, 1950. p. 321-386.

JOVANOVIC, N.; MU, Q.; BUGAN, R. D. H.; ZHAO, M. Dynamics of MODIS evapotranspiration in South Africa. Water SA, [*s. l.*], v. 41, n. 1, p. 79, 2015.

LANDERER, F. W.; SWENSON, S. C. Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates. Water Resources Research, [*s. l.*], v. 48, n. September 2011, p. 1–11, 2012.

LEAL E SÁ, L. T. Levantamento geológico-geomorfológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, no trecho compreendido entre Recife-PE e João Pessoa-PB. 1998. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 1998.

LEITE, J. A. P. C. 2018. Aplicação do índice de qualidade da água de Bascarán para aos rios Gramame, Abiaí e Araú na zona costeira sul da Paraíba. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal da Paraíba. 50p

LIMA FILHO, M. F.; BRITO NEVES, B. B. Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco. 1998.

LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, A. B.; SOUZA, E. M. 1998. Carbonate sections of the Paraiba and Pernambuco Basins, Northeastern Brazil: Implications for the late stages of opening of Southern Atlantic Ocean. Alicante (Espanha), 15th, Intern. Cong. Sediment., Abstracts, 504 –505.

LIMA, E. A.; NASCIMENTO, D. A.; DOURADO, T. D. C.; BRANDÃO, L. C. R. 2004. Mapeamento hidrogeológico da folha Sb.25-Y-C João Pessoa – Paraíba. XIII. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá – MT.

LIMA, E. A.; NASCIMENTO, D. A.; DOURADO, T. D. C.; BRANDÃO, L. C. R. 2004. Mapeamento hidrogeológico da folha Sb.25-Y-C João Pessoa – Paraíba. XIII. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá – MT.

LIMA, J. C.; BEZERRA, F. H.; ROSSETTI, D. F.; BARBOSA, J. A.; MEDEIROS, W. E.; DE CASTRO, D. L.; VASCONCELOS, D. L. 2016. Neogene-Quaternary fault reactivation influences coastal basin sedimentation and landform in the continental margin of NE Brazil. Quaternary International, 438: 92-107.

LOPES, A.; SCHEIBE, L. Vulnerabilidade e risco de contaminação das águas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Rio do Peixe/SC. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [*s. l.*], v. 20, n. 3, p. 560–570, 2015.

LORENZ, D. L.; DELIN, G. N. A regression model to estimate regional ground water recharge. Ground Water, [*s. l.*], v. 45, n. 2, p. 196–208, 2007.

LUCAS, M.; OLIVEIRA, P. T. S.; MELO, D. C. D.; WENDLAND, E. Evaluation of remotely sensed data for estimating recharge to an outcrop zone of the Guarani Aquifer System (South America). Hydrogeology Journal, [*s. l.*], v. 23, n. 5, p. 961–969, 2015.

LYNE, V.; HOLLICK, M. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. 1979.In: PROCEEDINGS OF THE HYDROLOGY AND WATER RESOURCES SYMPOSIUM,Perth, 10-12 September. Institution of Engineers National Conference Publication, N 79/10. p. 89-92.

MACE, R. E.; MULLICAN, W. F.; WAY, T. 2001. Estimating Groundwater Availability in Texas. Texas Water Development Board – TWDB. Texas. 16 p.

MAIDMENT, D. R. Handbook of Hydrology. New York: Mac Graw Hill, 1992.

MapBiomas – Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2021. Disponível em: https://mapbiomas.org/download. Acesso em: ago. de 2023.

MATTIUZI, C. D. P.; KIRCHHEIM, R.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Estimativa de recarga subterrânea a partir da Separação de escoamento de base na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí (América do Sul). Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 285, 2016.

MEDEIROS, C. M. Proposta para o enquadramento das águas subterrâneas na bacia sedimentar do baixo curso do rio Paraíba. 2012. 116 f. - Universidade Federal de Campina Grande, [*s. l.*], 2012.

MEDEIROS, C. M.; BARBOSA, D. L.; CEBALLOS, B. S. O.; RIBEIRO, M. R.; ALBUQUERQUE, J. P. T. 2009. Qualidade das águas subterrâneas na porção sedimentar da região do baixo curso do rio paraíba. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 1-15

MEDEIROS, L. T. G.; FARTO, C. D.; ATHAYDE JR., G. B. 2021. Avaliação da qualidade da água subterrânea na região dos Bancários em João Pessoa – PB. Research, Society and Development v. 10, n. 6., 1-15.

MELATI, M. D. Interações Entre as Águas Superficiais e o Sistema Aquífero Serra Geral, na Região da Bacia Hidrográfica do Paraná 3, Estado do Paraná. 2018. 120 f. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

MELATI, M. D.; ATHAYDE, G. B.; FAN, F. M.; GARCIA, L. H.; ATHAYDE, C. V. M. Monitoring groundwater storage in a fractured volcanic aquifer system. Environmental Monitoring and Assessment, [*s. l.*], p. 1–17, 2023.

MELATI, M. D.; FLEISCHMANN, A. S.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; ATHAYDE, G. B. Estimates of groundwater depletion under extreme drought in the Brazilian semi-arid region using GRACE satellite data: application for a small-scale aquifer. Hydrogeology Journal, [*s. l.*], v. 27, n. 8, 2019.

MOHRIAK, W. U. 2003. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves (eds.) CPRM, Brasília.

MOURÃO, M. A. A.; FEITOSA, F. A. C. 2009. Projeto Implantação de Rede Básica Nacional de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas – Plano de Ação para 2010. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Relatório Interno.

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. Remote Sensing of Environment, [*s. l.*], v. 115, n. 8, p. 1781–1800, 2011.

NIELSEN, D. M. Ground Water Monitoring. CRC Press, 1993.

NIEMINSKI, E. C.; BELLAMY, W. D.; MOSS, L. R. Using surrogates to improve plant performance. Journal American Water Works Association. 92:3, p.67- 78. 2000.

NIMMO, J. R.; HEALY, R. W.; STONESTROM, D. A. 2005. Aquifer recharge. In: Anderson, M.G., Bear, J. (Eds.), Encyclopedia of Hydrological Science, vol. 4. Wiley, Chichester, UK, pp. 2229– 2246.

NÓBREGA, V. A.; ALHEIROS, M. M. Petrografia do arenito Beberibe, Bacia Pernambuco-Paraíba. XIV Simpósio de Geologia do Nordeste. Anais. Recife: SBG/Núcleo Nordeste, v. 1, p. 75-77, 1991.

OLIVEIRA, A. M. *et al.* Modelagem do avanço da cunha salina em sistema aquífero costeiro. 2016.

OPEN STREET MAP. 2018. Open Street Map Statistics United Kingdom: OpenStreetMap Foundation. https://openstreetmap.org/stats/data_stats.html

PAULA E SILVA, F. 2003. Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 166 p.

PAULA E SILVA, F.; FISCHER, T. V.; EZAKI, S.; GASTMANS, D.; RODRIGUES, V. R.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; FRANZINI, A. S.; NOALE, J. O. 2021. Avaliação do estresse hídrico subterrâneo das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ). Derbyana, São Paulo, 42: e754, 2021.

PAZDRO, Z. Hydrogeologia Ogólna, W.G.Warszawa, p.575. 1983. Planet. *Planet Explorer*. 2022. Disponível em: https://www.planet.com/explorer/

PINHEIRO, R. J. B.; RAUBER, A. C. C.; NUMMER, A. V.; SILVA, J. L. S. Aplicação dos Métodos GOD e POSH para determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação dos aquíferos na cidade de Santa Maria-RS/Application of the GOD and POSH methods to determine the vulnerability and contamination risk of aquifers in Santa M. Revista de Gestão de Água da América Latina, [*s. l.*], v. 12, n. 2, p. 61–79, 2015.

PLANET LABS. Planet Imagery Product Specifications. 2021.

PNUD. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Índice de Desenvolvimento Humano - IDH. 2010. Disponível em: https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html. Acesso em: set. de 2023.

PONCE, V. M. 2007. Sustainable Yield of Ground Water. Disponível em: http://ponce.sdsu.edu.

PROFILL-RHAMA. Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 2020 a 2035: Relatório Síntese. / executado por

Consórcio Profill-Rhama e organizado por Comitês PCJ/Agência das Bacias PCJ. – Piracicaba (SP): Consórcio Profill-Rhama, 2020.

RAWAT, K. S.; MISHRA, A. K.; PAUL, G.; KUMAR, R. Estimation of Ground Water Recharge in Shankergarh block of Allahabad (India) using Remote Sensing and Statistical Approach. Global Journal of Science, Engineering and Technology, [*s. l.*], v. 1, n. 1, p. 34–48, 2012.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Águas Subterrâneas, [*s. l.*], v. 27, n. 2, p. 32–46, 2013.

RISSER, D. W.; GBUREK, W. J.; FOLMAR, G. J. Comparison of Methods for Estimating Ground-Water Recharge and Base Flow at a Small Watershed Underlain by Fractured Bedrock in the Eastern United States. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, [*s. l.*], p. 31, 2005.

ROSE, S. 2009. Groundwater Recharge and Discharge. Groundwater – Vol. III. ©Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H.; GÓES, A. M.; BRITO NEVES, B. B. Sediment deformation in Miocene and post-Miocene strata, Northeastern Brazil: evidence for paleoseismicity in a passive margin. Sedimentary Geology, v. 235, n. 3-4, p. 172-187, 2011.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; VALERIANO, M. M.; MIRANDA, M. C. C. Tectônica quaternária em margem passiva: Ilha de Marajó, norte do Brasil. Journal of Quaternary Science 23, 121-135, 2008.

SABESP-CEPAS. Diagnóstico hidrogeológico da região metropolitana de São Paulo. Relatório Final. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas da Universidade de São Paulo. [*S. l.*]: USP, 1994.

SAVE, H.; BETTADPUR, S.; TAPLEY, B. D. High-resolution CSR GRACE RL05 mascons. J. Geophys. Res. Solid Earth, [*s. l.*], v. 121, p. 7547–7569, 2016.

SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal. v. 10, p. 18 39.

SCANLON, B. R.; LONGUEVERGNE, L.; LONG, D. Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley, USA. Water Resources Research, [*s. l.*], v. 48, n. 4, p. 1–9, 2012.

SCANLON, B. R.; REEDY, R. C.; STONESTROM, D. A.; PRUDIC, D. E.; DENNEHY, K. F. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. Global Change Biology, 11: 1577-1593. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01026.x. 2005.

SCHMORK, S., MERCADO, A., 1969. Upconing of Fresh Water-Sea Water Interface Below Pumping Wells, Field Study. Water Resources Research 5, 1290–1311. doi: 10.1029/WR005i006p01290.

SEMARH. SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E MINERAIS. Plano estadual de recursos hídricos do Estado da Paraíba: atividades da primeira etapa. João Pessoa: SEMARH/PB, 2004.

SEMARH. SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E MINERAIS. 2000. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame. Relatório Final – Volume 2. João Pessoa/PB, 2000.

SHABAN, A.; KHAWLIE, M.; ABDALLAH, C. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: The case of Occidental Lebanon. Hydrogeology Journal, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 433–443, 2006.

SIMMERS, I. 1990. Aridity, groundwater recharge and water resources management. In: Groundwater recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge. David N. Lerner, Arie S. Issar, Ian Simmers. Internat. Association of Hydrogeologists – Hannover: Heisse.

SOUZA, E. M. 2006. Estratigrafia da sequência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, UFPE, 350p.

STRACK, O. D. L., 1976. A single-potential solution for regional interface problems in coastal aquifers. Water Resources Research 12, 1165–1174. doi: 10.1029/WR012i006p01165.

SUDENE/CONESP-OESA. 1975. Estudos de reconhecimento e estudos hidrogeológicos para aproveitamento integrado. Região centro-leste da Bacia Potiguar e bacias costeiras da Paraíba e Pernambuco. Área A. Estudos hidrogeológicos – minuta do relatório final.

TAPLEY, B. D.; BETTADPUR, S.; WATKINS, M. M.; REIGBER, C. The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. Geophysical Research Letters, [*s. l.*], v. 31, n. 9, p. 1–4, 2004.

TARGINO, D. F. Análise espaço-temporal da qualidade da água subterrânea da bacia do Rio Gramame/PB. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 128p, 2012

TODD, D. K. 1959. Groundwater hydrology. John Wily & Sons, Inc., New York.

TODINI, E. The ARNO rainfall—runoff model. Journal of Hydrology, [*s. l.*], v. 175, n. 1–4, p. 339–382, 1996.

TORRES, F. S. M.; SILVA, E. P. Geodiversidade do estado da Paraíba. Recife: CPRM, 2016.

UOP Johnson Division Inc. e CETESB. 1978. Água Subterrânea e Poços Tubulares. 3°ed traduzida pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, São Paulo.

US/EPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Primary Drinking Water. Regulations: long term 2 enhanced surface water treatment rule; Final Rule. Federal Register – Part II – 40CFR, Parts 9, 141 and 142. 2006.

VARNI, M.; COMAS, R.; WEINZETTEL, P.; DIETRICH, S. Application of the water table fluctuation method to characterize groundwater recharge in the Pampa plain, Argentina. Hydrological Sciences Journal, [*s. l.*], v. 58, n. 7, p. 1445–1455, 2013.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aqüíferos em Uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 15–25, 2005a.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Perímetros de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos. Águas Subterrâneas, 2005b.

WATKINS, M. M.; WIESE, D. N.; YUAN, D. N.; BOENING, C.; LANDERER, F. W. Improved methods for observing Earth's time variable mass distribution with GRACE using spherical cap mascons. Journal of Geophysical Research: Solid Earth RESEARCH, [*s. l.*], v. 120, n. 4, p. 2648–2671, 2015.

WENDLAND, E.; BARRETO, C.; GOMES, L. H. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. Journal of Hydrology, [*s. l.*], v. 342, n. 3–4, p. 261–269, 2007.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking water quality.4ª ed. Geneva: WHO, 2011. 541p

WIESE, D. N.; LANDERER, F. W.; WATKINS, M. M. Quantifying and reducing leakage errors in the JPL RL05M GRACE mascon solution. Water Resources Research, [*s. l.*], v. 52, n. 9, p. 7490–7502, 2016.

WOESSNER, W. W. 2020. Groundwater-Surface Water Exchange / William W. Woessner - Guelph, Ontario, Canada. 158 pag.

YEH, H. F.; CHENG, Y. S.; LIN, H. I.; LEE, C. H. Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. Sustainable Environment Research, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 33–43, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.serj.2015.09.005>

YEH, H. F.; LEE, C. H.; HSU, K.C.; CHANG, P. H. GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. Environmental Geology, [s. l.], v. 58, n. 1, p. 185–195, 2009.

ZHAO, M.; HEINSCH, F. A.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. Remote Sensing of Environment, [*s. l.*], v. 95, n. 2, p. 164–176, 2005.