



**GOVERNO
DA PARAÍBA**



THE WORLD BANK
IBRD • IDA

**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**

**PROPOSTA PARA A REDE DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVA
DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
PRODUTO 5**



NIP do Brasil
Estudos e Projetos



PROFILL

Setembro de 2024

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

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

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Pr oduto05_REV02.docx	

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

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

APRESENTAÇÃO

O Consórcio IGNEO-NIP-PROFILL vêm, por meio deste, apresentar o **Produto 5 – Proposta para rede de monitoramento quali-quantitativa de água subterrânea**, referente ao contrato 1-010/2022.

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.

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Pr oduto05_REV02.docx	
---	--	---

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO DA REDE DE MONITORAMENTO DO SAPP	11
3	SISTEMAS AQUÍFEROS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO	12
4	REDES DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO SAPP	16
4.1	Rede de monitoramento em operação	16
4.2	Redes de monitoramento descontinuadas	18
5	PROPOSTA PARA A REDE DE MONITORAMENTO NO SAPP	19
5.1	Seleção de poços da rede inicial	23
5.2	Seleção de pontos para instalação de poços de dedicação exclusiva.....	30
5.3	Rede flutuante.....	35
5.3.1	Qualidade da água	35
5.3.2	Hidrômetros.....	36
5.4	Compilado dos locais selecionados para a rede do SAPP	38
5.5	Critérios para Priorização das Áreas de Monitoramento.....	41
6	METODOLOGIAS E EQUIPAMENTOS PARA O MONITORAMENTO QUALI- QUANTITATIVO.....	45
6.1	Monitoramento da Quantidade	46
6.2	Monitoramento da Qualidade	49
6.2.1	Método automático	50
6.2.2	Método Manual.....	53
6.3	Aquisição e transmissão dos dados	62
6.4	Análise e Tratamento dos Dados	64
6.5	Integração entre Dados de Monitoramento de Águas Subterrâneas e Superficiais	67
6.6	Procedimentos para a Alimentação do Banco de dados	68
7	CONCLUSÕES.....	70
8	REFERÊNCIAS	74
9	ANEXOS.....	78

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

9.1	Anexo I - Fichas de Campo	78
9.2	Anexo II – Fichas dos Poços da Rede de Monitoramento do SAPP	78
9.3	Anexo III – Séries Históricas do Monitoramento de Níveis em Poços Seleccionados para a Rede do SAPP	78

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Pr oduto05_REV02.docx	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Zonas e subzonas de gerenciamento definidas em etapas anteriores em função da criticidade do balanço hídrico.....	10
Figura 3.1 - Distribuição dos aquíferos componentes do SAPP na área de estudo.....	15
Figura 5.1 - Fluxograma do processo de seleção de poços e áreas para compor a rede de monitoramento.....	22
Figura 5.2 - Mapa de localização de poços existentes indicados para inserção na rede de monitoramento do SAPP.....	29
Figura 5.3 - Mapa de localização das estações fluviométricas e pluviométricas nas subzonas de gerenciamento do SAPP utilizadas no diagnóstico.....	34
Figura 5.4 - Distribuição dos pontos de outorga das águas subterrâneas no SAPP.....	37
Figura 5.5 - Distribuição dos pontos de monitoramento quali-quantitativo propostos para o SAPP....	41
Figura 5.6 - Mapa das áreas prioritárias para instalação de poços de monitoramento no SAPP	44
Figura 6.1 - Ligação Típica / Sensor Hidrostático.....	48
Figura 6.2 - Aquisição transmissão e análise de dados em poços de monitoramento.....	62

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Parâmetros hidroquímicos de análise padrão da CPRM.....	17
Tabela 5.1 – Dados cadastrais de poços levantados neste estudo.....	23
Tabela 5.2 – Levantamento de poços pré-selecionados para inserção na rede de monitoramento do SAPP.....	27
Tabela 5.3 – Locais selecionados para localização de poços para a rede de dedicação exclusiva.	32
Tabela 5.4 – Densidade de poços por subzona de gerenciamento.....	38
Tabela 5.5 – Distribuição dos pontos escolhidos para a rede de monitoramento do SAPP por subzonas de gerenciamento.....	39
Tabela 5.6 – Priorização das subzonas de gerenciamento para instalação de poços de monitoramento.	43
Tabela 5.7 – Prioridade por subzonas.	45
Tabela 6.1 - Especificações do transdutor de pressão (sensor de nível).	49
Tabela 6.2 - Especificações dos sensores de monitoramento automático da qualidade.	52
Tabela 6.3 - Parâmetros químicos de monitoramento.	57
Tabela 6.4 - Parâmetros físico-químicos de monitoramento.	57
Tabela 6.5 - Parâmetros microbiológicos de monitoramento.	58
Tabela 6.6 - Parâmetros orgânicos de monitoramento.....	58
Tabela 6.7 - Parâmetros agroquímicos de monitoramento.....	59
Tabela 6.8 - Especificações da UTR.....	63

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

1 INTRODUÇÃO

Este relatório contempla o Produto 5 dos Termos de Referência dos “Estudos Hidrogeológicos sobre as Áreas de Recarga do Sistema Aquífero Pernambuco-Paraíba (SAPP) com a Elaboração do Mapa de Zonas de Gerenciamento e Elaboração de Proposta de Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas do Estado da Paraíba”. O Produto 5 trata da formulação da **“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 pela consultoria até o presente momento nos produtos 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 (Figura 1.1). 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 inicialmente 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.

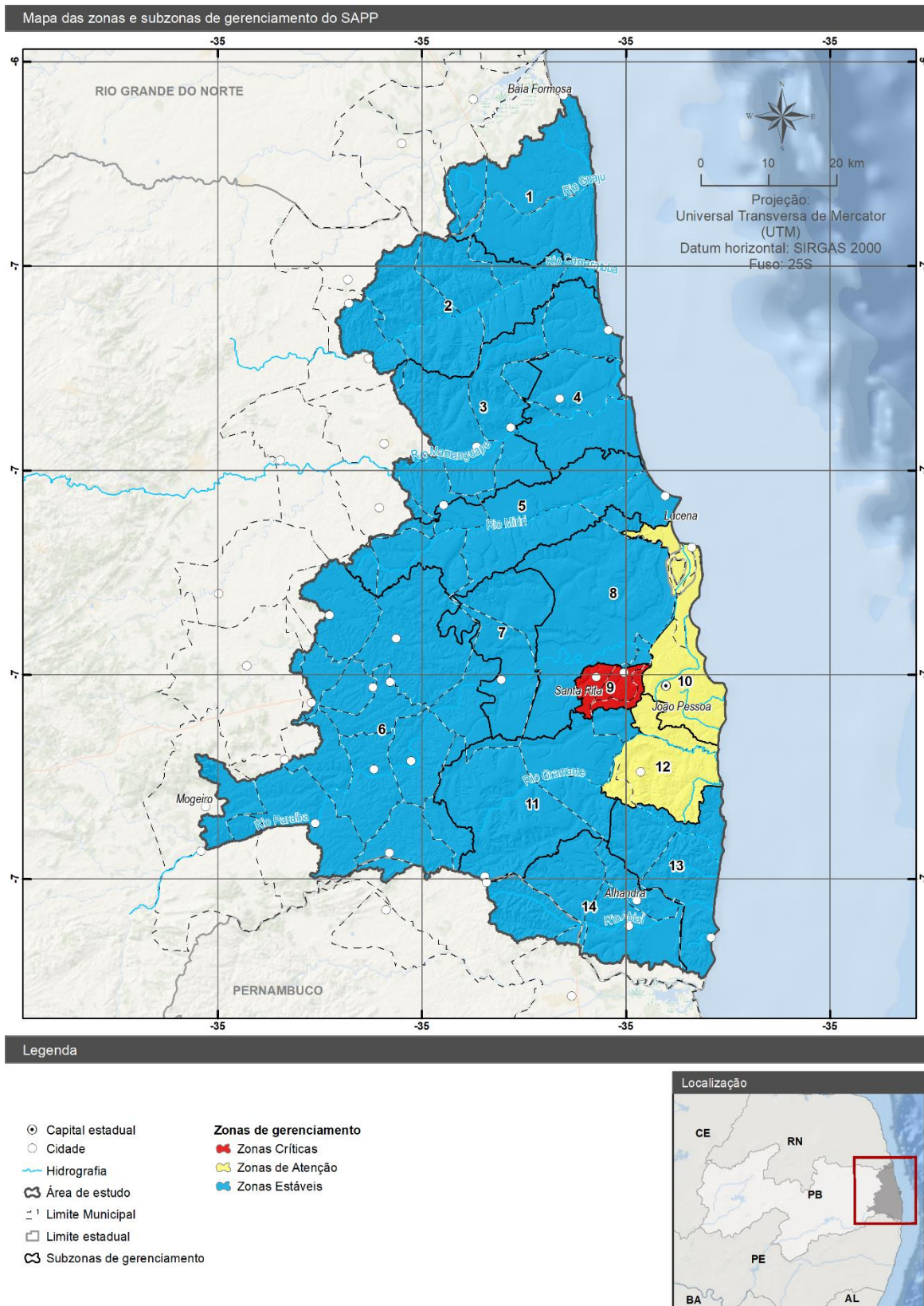


Figura 1.1 - Zonas e subzonas de gerenciamento definidas em etapas anteriores em função da criticidade do balanço hídrico.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

2 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 produtos 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 superexploração, 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;

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Pr oduto05_REV02.docx	

- 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. O capítulo a seguir apresenta um breve resumo a respeito dos sistemas aquíferos da área de estudo e que compõe o SAPP. Mais informações e detalhes podem ser encontrados nos produtos anteriores desta consultoria, em especial nos produtos 2 (Diagnóstico) e 3 (Modelo Conceitual).

3 SISTEMAS AQUÍFEROS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO

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 (2019). O conjunto de aquíferos superficiais, representados por sedimentos fluviais, costeiros e coberturas colúvio-eluvionares, foram reunidos no sistema Cobertura Sedimentares. O

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

conjunto formado por todas essas unidades hidroestratigráficas representa o Sistema Aquífero Pernambuco-Paraíba – SAPP, no estado da Paraíba.

Segundo Costa *et al.* (2007), a bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba, onde ocorre o SAPP, ocupa o litoral dos dois estados, estendendo-se desde a cidade de Recife, onde é limitada pelo Lineamento Pernambuco, até o vale do Rio Camaratuba, ao norte de João Pessoa. Na concepção hidrogeológica prevalente (PERH-PB, 2022; AESA, 2022; COSTA *et al.*, 2007), o SAPP na área de estudo tem sido subdividido em dois subsistemas principais:

- O subsistema livre, composto predominantemente por sedimentos do Grupo Barreiras, eventualmente pelos sedimentos quaternários das Coberturas Sedimentares (de praia, dunas e aluviões) que 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 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).

Os reservatórios subterrâneos componentes do SAPP na bacia sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba integram as unidades hidroestratigráficas a seguir: Coberturas Sedimentares, Barreiras, Gramame e Beberibe, distribuídas em área total de 4.356 km² (Figura 3.1), de acordo com CPRM (2019). A base do SAPP é constituída por rochas ígneas e metamórficas que atuam como substrato impermeável (Aquiclude).

As Coberturas Sedimentares ocupam uma área de 1.836 km² na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba, localizada no Estado da Paraíba, correspondendo a 42% da extensão total do SAPP. Com sua composição predominantemente arenosa e porosidade granular, essas formações naturais facilitam a infiltração das águas pluviais, desempenhando um papel crucial na recarga vertical dos aquíferos mais profundos (COSTA *et al.*, 2007).

O Aquífero Barreiras se estende por 2.386 km² na área de estudo, o que representa 55% da superfície total do SAPP. Ele é definido como um aquífero de extensão regional, de natureza

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

livre a semilivre, sendo contínuo, heterogêneo, anisotrópico e apresentando porosidade granular (COSTA *et al.*, 2007).

O Aquitardo Gramame é composto, principalmente, por calcários e margas. Apresenta área de afloramento limitada abrangendo apenas 23 km² em uma faixa descontínua com orientação NW-SE, localizada no extremo sul da área de estudo. Este aquitardo cobre parcialmente o Aquífero Beberibe subjacente. É um aquitardo de extensão local, caracterizado por ser heterogêneo, descontínuo e apresentar porosidade granular (COSTA *et al.*, 2007).

O Aquífero Beberibe apresenta afloramentos descontínuos em uma área relativamente pequena, abrangendo apenas 111 km² na região sul da Falha de Itabaiana, correspondendo a 2,5% da superfície total do SAPP. Composto principalmente por arenitos intercalados com sedimentos pelíticos, este aquífero é caracterizado por sua extensão regional, podendo ser classificado como livre a semiconfinado/confinado. Além disso, é considerado contínuo, heterogêneo, anisotrópico e possui porosidade granular (COSTA *et al.*, 2007).

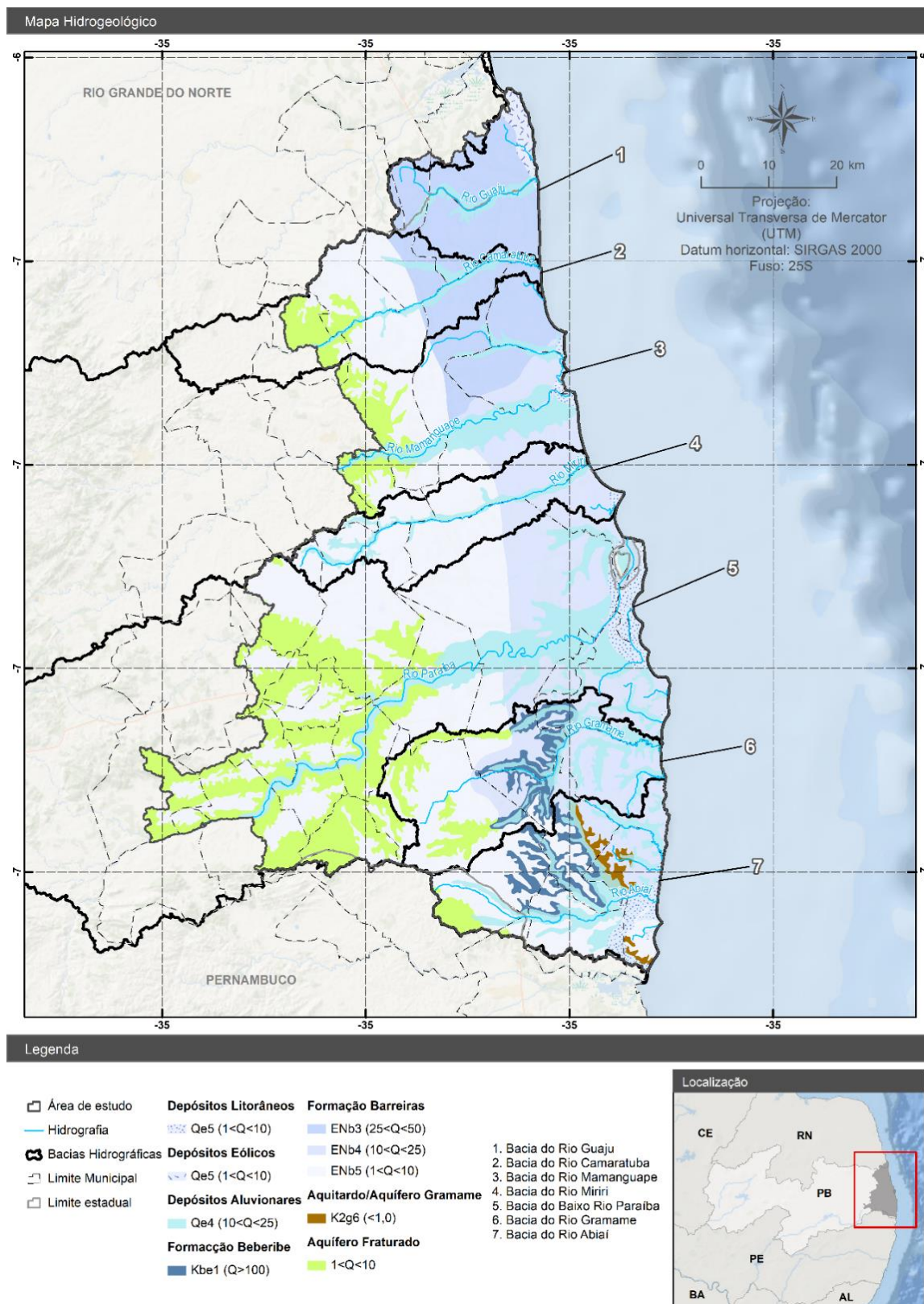


Figura 3.1 - Distribuição dos aquíferos componentes do SAPP na área de estudo.

Fonte: CPRM, 2019.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

4 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 (4.1) ou descontinuadas (4.2) na área do SAPP. Tais informações já foram levantadas e tratadas com profundidade no Produto 2 “Diagnóstico” desta consultoria, 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 Produto 4 para as estimativas de recarga das águas subterrâneas.

4.1 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 Pernambuco-Paraíba (SAPP).

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 Produtos 2 e 3, podendo ser consultada nos referidos documentos e as séries de dados que tinham a qualidade necessária foram usadas para estimativas da recarga no produto 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 CPRM¹ 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.

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 5 anos ou quando parâmetros indicadores mostrem variação significativa na química da água. A Tabela 4.1 lista os parâmetros hidroquímicos de análise padrão realizada pela CPRM.

Tabela 4.1 – Parâmetros hidroquímicos de análise padrão da CPRM.

Parâmetros hidroquímicos		
pH (<i>in loco</i> e lab)	Berílio	Lítio
Eh (<i>in loco</i>)	Boro Total	Magnésio Total
Temperatura (<i>in loco</i>)	Brometo	Manganês Total
Condutividade Elétrica (<i>in loco</i>)	Carbono Orgânico Dissolvido	Mercúrio Total
Turbidez	Cálcio Total	Nitrato
Cor	Cádmio Total	Nitrito
Sólidos Dissolvidos	Cloreto Total	Nitrogênio Kjeldhal
Resíduo Seco 180°C	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

¹ <https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/>

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

Parâmetros hidroquímicos		
Arsênio Total	Fosfato	Vanádio Total
Bário Total		

Fonte: Rede RIMAS

4.2 REDES DE MONITORAMENTO DESCONTINUADAS

Conforme apresentado nos produtos anteriores da presente consultoria, o Projeto BRAMAR (ABELS *et al.*, 2017), uma colaboração entre Brasil e Alemanha, implementou uma rede de monitoramento quantitativo das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Pernambuco-Paraíba (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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Pr oduto05_REV02.docx	

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 8 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, Anatolia, Funcionários I, Funcionários II, Conjunto Mangabeira e Cristo, de propriedade da CAGEPA – Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba. Nesses 6 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 capítulos abordarão com mais detalhes este tema.

5 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

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 exploração de água subterrânea e/ou em processo de degradação de sua qualidade natural, entre outros, para o SAPP essas áreas foram definidas no Produto 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 Produto 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 Relatório 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, ponteiros 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, 2005). Assim, o projeto da rede de monitoramento do SAPP levou em consideração somente poços tubulares para sua definição.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

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 capítulo, 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.

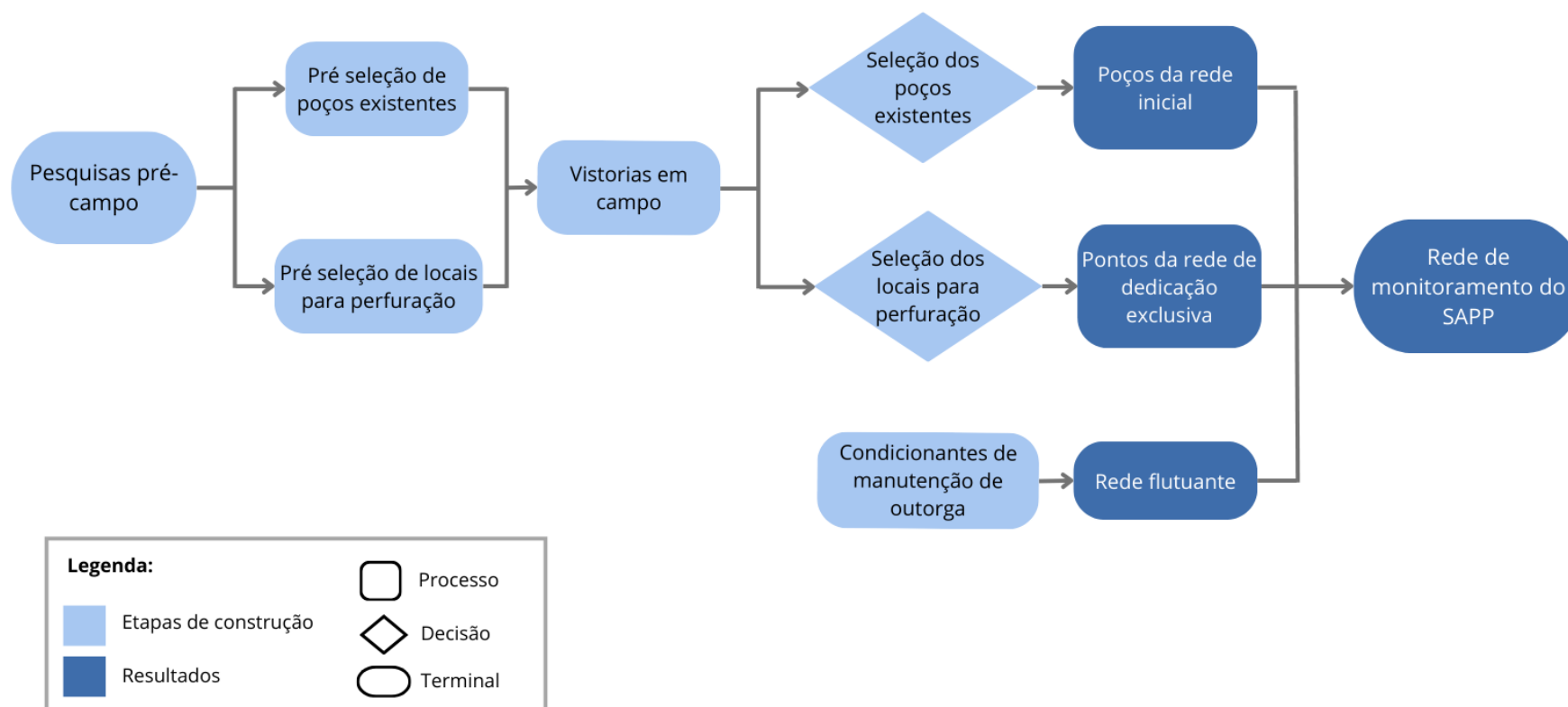


Figura 5.1 - Fluxograma do processo de seleção de poços e áreas para compor a rede de monitoramento.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

5.1 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 Produto 2 - Diagnóstico), conforme discriminados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – 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 <i>et al.</i> (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,

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

Conjunto de Dados	Descrição
	localizadas no município de João Pessoa. O estudo reúne dados dos poços utilizados e resultados do monitoramento no período.

Fonte: Elaboração própria.

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);

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Pr oduto05_REV02.docx	

- 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 I - 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 exploração 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.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Pr oduto05_REV02.docx	

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 I - 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 I - 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 capítulo seguinte.

A partir desses resultados é obtida uma rede inicial de monitoramento, com poços existentes na região. A Tabela 5.2 apresenta esses poços e indica quais foram escolhidos para compor a rede de monitoramento do SAPP e quais não.

Tabela 5.2 – 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; 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.

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
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; 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.

Fonte: Elaboração própria. S/I = sem informação.

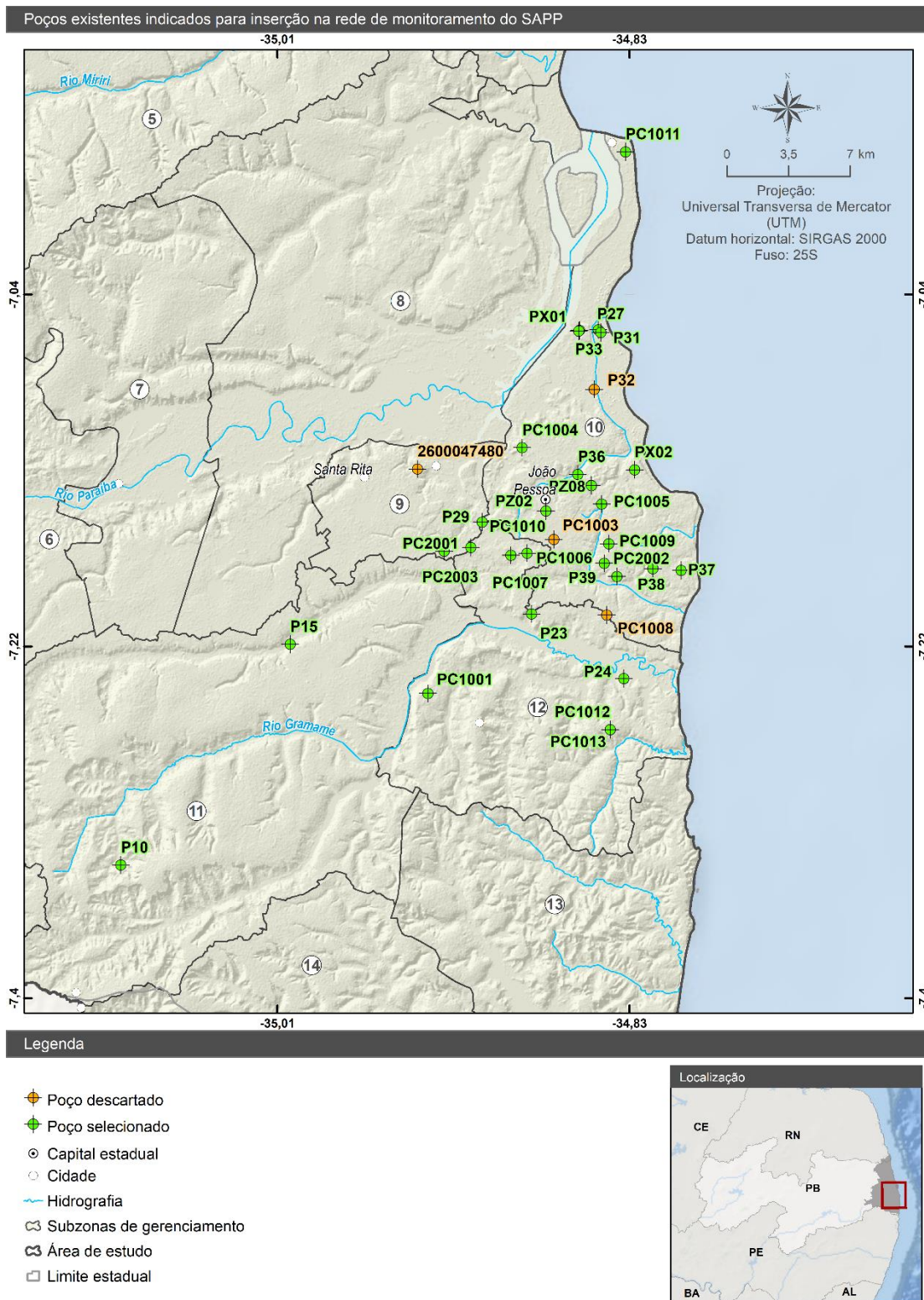


Figura 5.2 - Mapa de localização de poços existentes indicados para inserção na rede de monitoramento do SAPP.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

5.2 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 adotou também critérios particulares à região além de critérios adotados por PROFILL/PCJ (2019), 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 produto 2 “Diagnóstico” da presente consultoria.

 GOVERNO DA PARAIBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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 (Tabela 5.3). 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 na Tabela 5.3. O detalhamento das visitas técnicas e principais apontamentos do técnico especialista para cada ponto, com fotos dos locais, são apresentados no Anexo I - Fichas de Campo.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

Tabela 5.3 – 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 - CABEDELLO	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	
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	
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
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

Fonte: Elaboração própria.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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).

Macrolocalização dos poços de dedicação exclusiva em função das estações hidrometeorológicas



Legenda

- ▲ Estação fluviométrica
- ▼ Estação pluviométrica
- ▼ Estação pluviométrica - ponto descartado
- Ponto extra
- Ponto extra - descartado
- Capital estadual
- Cidade
- ▭ Área de estudo
- Hidrografia
- ▭ Limite estadual
- ▭ Subzonas de gerenciamento



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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

5.3 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 Produto 6 da presente consultoria, 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.

5.3.1 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 deverá 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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.

5.3.2 *Hidrômetros*

O Decreto Estadual nº 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.

Mapa das outorgas subterrâneas e Subzonas de Gerenciamento na área do SAPP

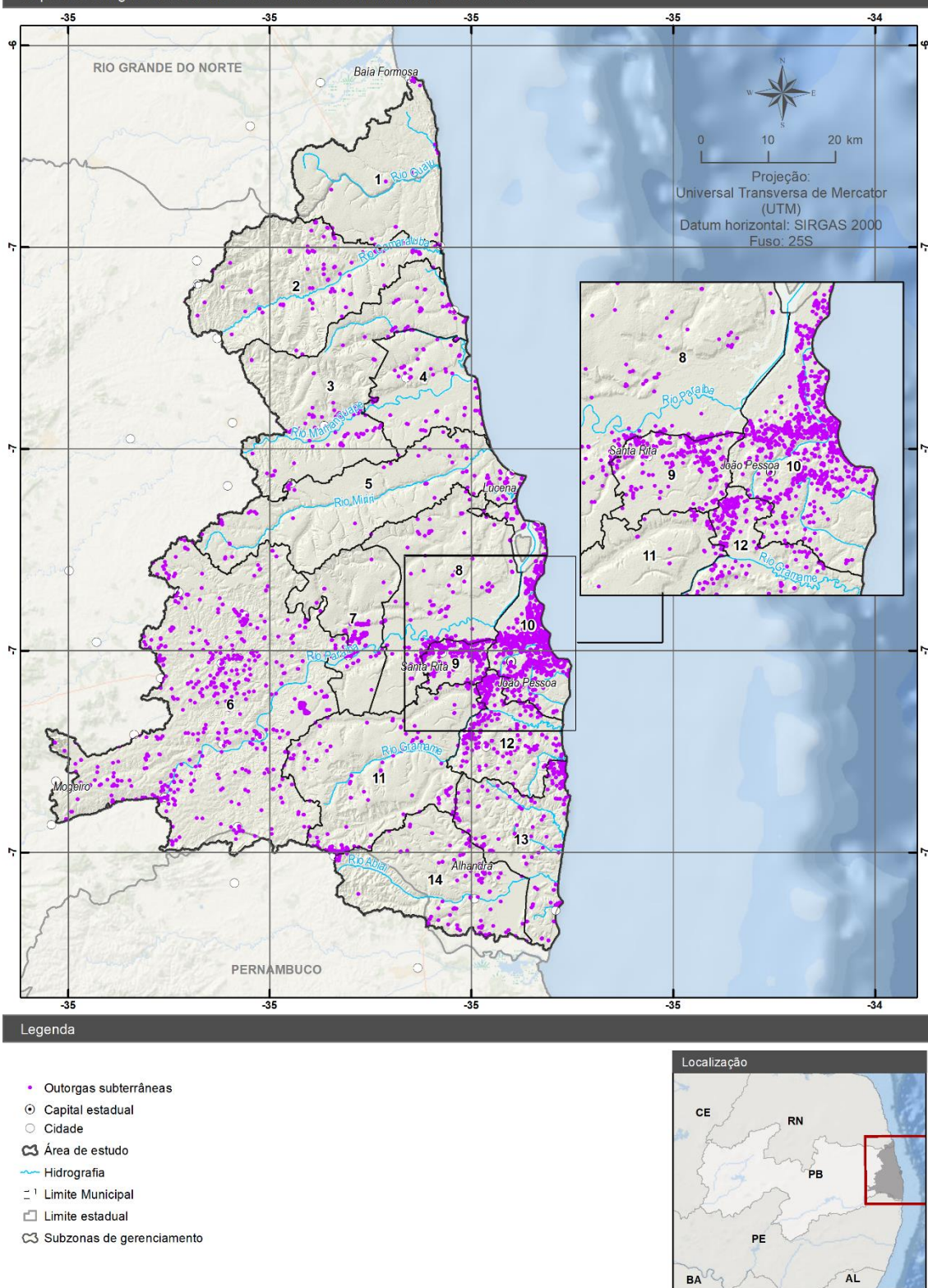


Figura 5.4 - Distribuição dos pontos de outorga das águas subterrâneas no SAPP.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

5.4 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 (Tabela 5.5).

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. A Tabela 5.4 apresenta a densidade de poços em cada subzona.

Tabela 5.4 – Densidade de poços por subzona de gerenciamento

Subzona	Número de poços	Area (km ²)	Densidade (poço/km ²)
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

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.5 – 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
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 pluviométrica

Código Novo	Referência	Município	Subzona de Gerenciamento	Código Antigo	Nome/Referência Antiga	Aquífero	Rede	Origem
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
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

Fonte: Elaboração própria.

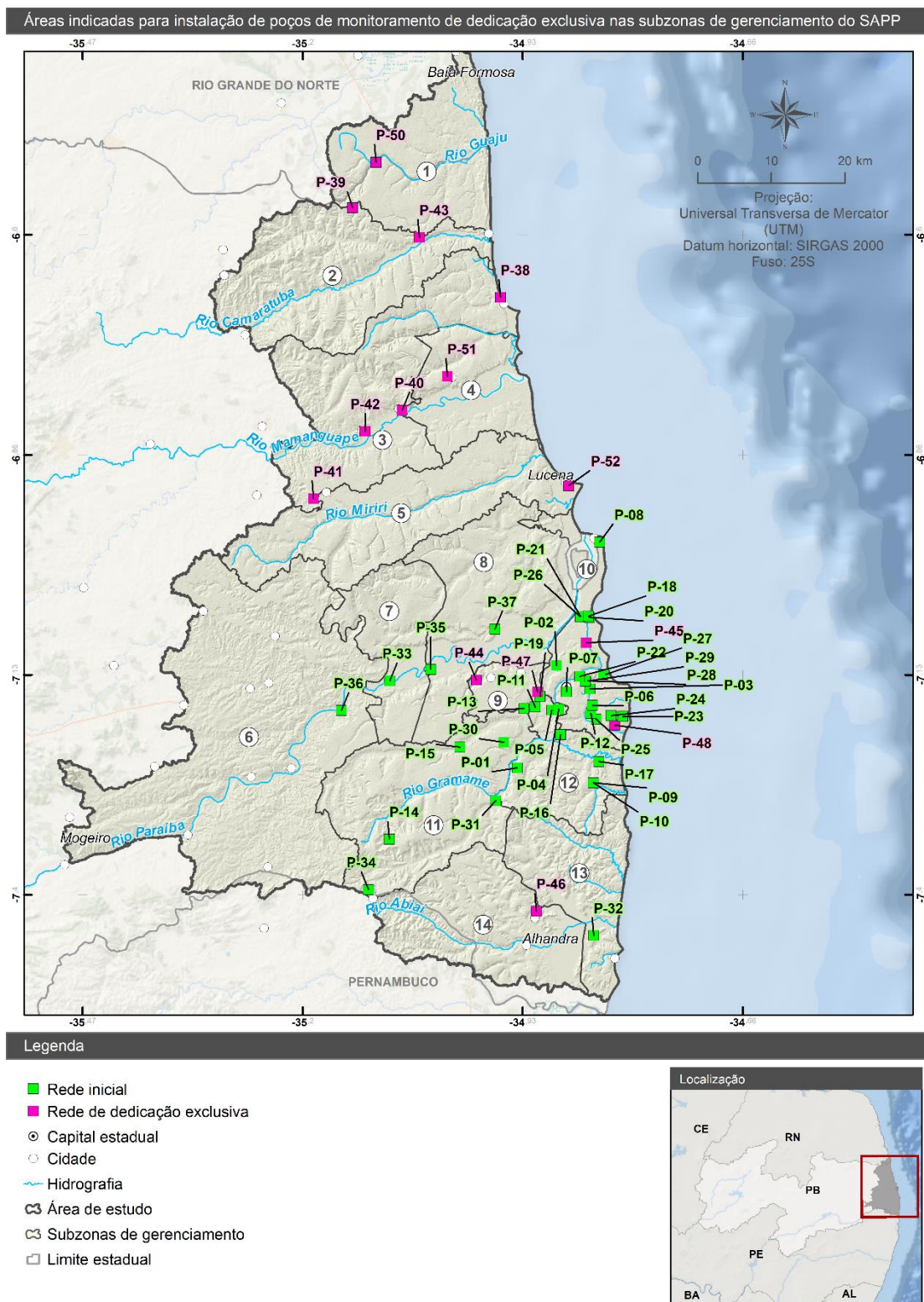


Figura 5.5 - Distribuição dos pontos de monitoramento quali-quantitativo propostos para o SAPP.

5.5 CRITÉRIOS PARA PRIORIZAÇÃO DAS ÁREAS DE MONITORAMENTO

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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 exploração 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 exploração, já apresentados e discutidos em relatórios 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 (Tabela 5.6).

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

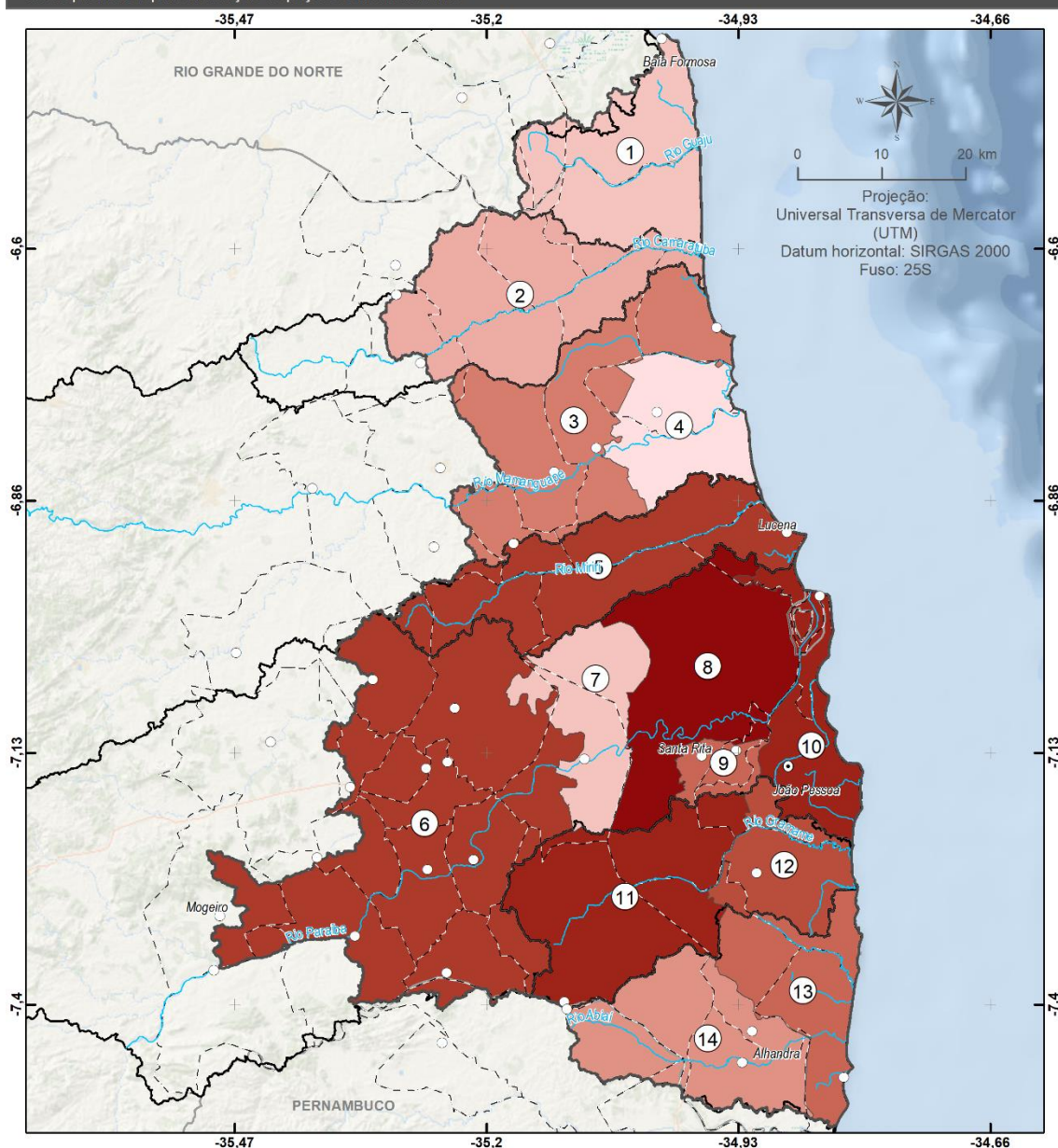
Tabela 5.6 – Priorização das subzonas de gerenciamento para instalação de poços de monitoramento.

Subzonas de gerenciamento	Intensidade de exploração	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

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Tabela 5.6, 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.

Áreas prioritárias para instalação de poços de monitoramento



Legenda

- Capital estadual
- Sede municipal
- Hidrografia
- Área de estudo
- Limite estadual
- Subzonas de gerenciamento
- Prioridade da subzona:**
 - Alta
 - Baixa



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 na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – 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

Fonte: Elaboração própria

6 METODOLOGIAS E EQUIPAMENTOS PARA O MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO

O presente capítulo 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.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

6.1 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 Produto 4 deste estudo.

Em relação à aplicação do método WTF para estimativa da recarga, Carnier Neto & 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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*,

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

especialmente selecionados para essa finalidade. O dimensionamento dos sensores de nível é apresentado neste tópico e equipamentos de telemetria são apresentados no capítulo 6.3.

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 6.1). Essa variação é então registrada e convertida em uma medida de altura de coluna de água.

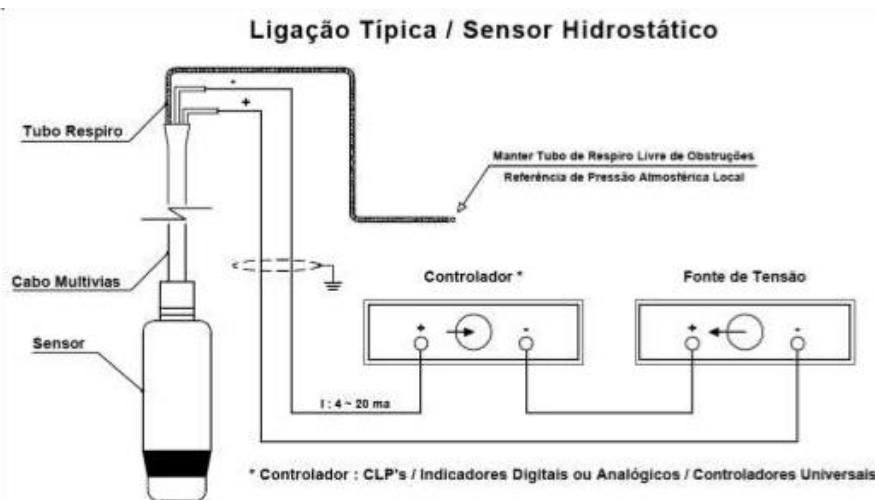


Figura 6.1 - Ligação Típica / Sensor Hidrostático.

Fonte: <https://www.engellogic.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.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

A Tabela 6.1 apresenta as especificações dos sensores de nível. No Anexo II – Fichas dos Poços da Rede de Monitoramento do SAPP são apresentadas essas especificações com as variações específicas de acordo com as características de cada poço.

Tabela 6.1 - 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%

Fonte: Elaboração própria

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 II – Fichas dos Poços da Rede de Monitoramento do SAPP), está definida a frequência das medições.

6.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas tem por objetivos:

- Caracterizar a qualidade natural das águas dos diversos aquíferos;

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

- 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.

6.2.1 *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.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

As especificações dos equipamentos estão descritas na Tabela 6.2. No Anexo II – Fichas dos Poços da Rede de Monitoramento do SAPP, são detalhadas as especificações dos equipamentos para cada poço.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

Tabela 6.2 - 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	0.2uS
2,000-100,000 uS/cm	2 uS
>100,000 uS/cm	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 típica 1.0°C max.
Precisão da corrente de Loop	32 uA
Fonte de energia	
Modo 4-20mA	23-36 VDC
Modo Modbus	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 isolamento 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

Fonte: Elaboração própria

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

6.2.2 *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.

6.2.2.1 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;

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

- 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;

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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.

6.2.2.2 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

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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 permitirá 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.

Considerando que as características peculiares de cada aquífero são ainda desconhecidas, sugere-se num primeiro momento a análise dos parâmetros listados na Tabela 6.3, Tabela 6.4, Tabela 6.5, Tabela 6.6 e Tabela 6.7. Observa-se que a maioria desses parâmetros estão incluídos na Portaria 888/GMS, que estabelece os padrões de qualidade da água para consumo humano.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

Tabela 6.3 - 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 180°C	
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

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.4 - Parâmetros físico-químicos de monitoramento.

Parâmetros físico-químicos	
Condutividade elétrica - laboratório	pH (campo)
Condutividade elétrica (campo)	pH laboratório
Cor	Temperatura (campo)
Eh (campo)	Turbidez

Fonte: Elaboração própria

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto05_REV02.docx	

Tabela 6.5 - Parâmetros microbiológicos de monitoramento.

Microbiológico	Portaria	Microbiológico	Portaria
Coliformes termotolerantes	888/GMS	Microcistinas	888/GMS
Coliformes totais	888/GMS	Saxitoxinas	888/GMS

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.6 - 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	Tetracloroeto 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	Epícloridrina	888/GMS	Trihalometanos Total	888/GMS
Benzo[a]pireno	888/GMS	Etilbenzeno	888/GMS	Xilenos	888/GMS
Bromato	888/GMS				

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.7 - 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				

Fonte: Elaboração própria

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

Os parâmetros químicos e físico-químicos (Tabela 6.3 e Tabela 6.4) 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 (Tabela 6.5). 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 na Tabela 6.6 e na Tabela 6.7. 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.

6.2.2.3 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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.

6.2.2.4 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.

6.2.2.5 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.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

6.3 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 GPRS² para a nuvem, onde podem ser armazenados e processados utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT). A Figura 6.2 ilustra como os dados são coletados e transmitidos.

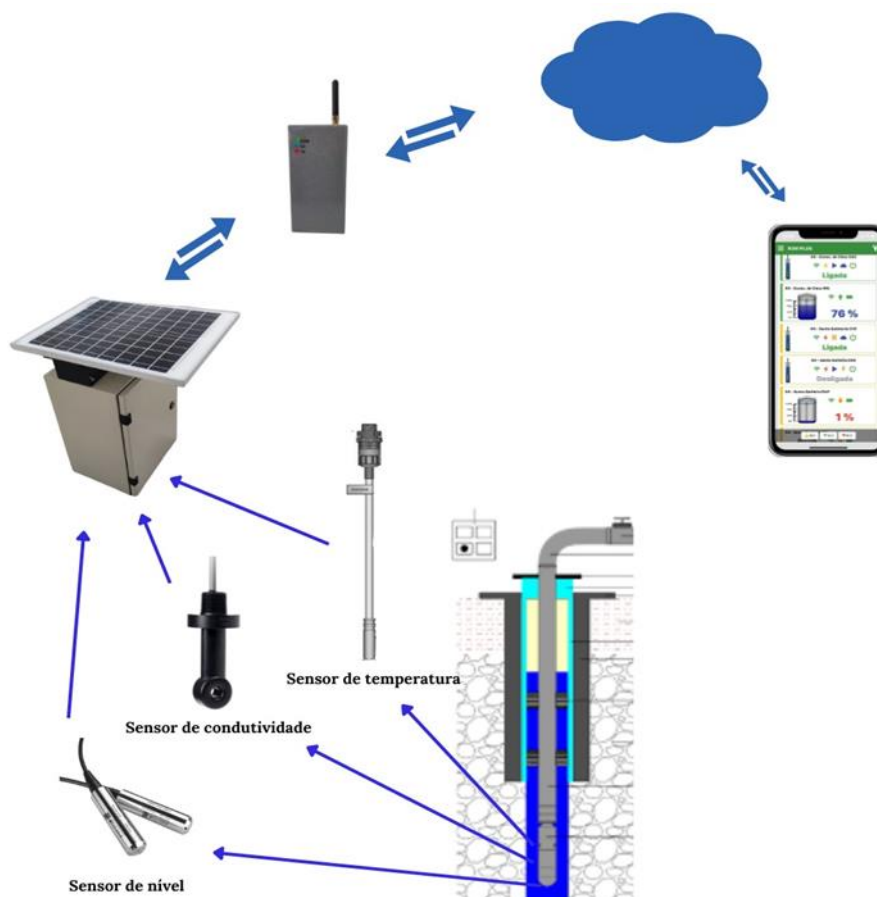


Figura 6.2 - Aquisição transmissão e análise de dados em poços de monitoramento.

Fonte: Dakron Automação e Comércio de peças Ltda.

² 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.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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 MQTT³. Essas informações são então transmitidas para um software, onde são processadas e visualizadas em gráficos intuitivos, acessíveis via web e aplicativo. A tecnologia M2M⁴ 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 na Tabela 6.8, e o Anexo II – Fichas dos Poços da Rede de Monitoramento do SAPP 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.

Tabela 6.8 - 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

³ 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.

⁴ 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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)
Antena	Conector SMA Protocolos Modbus RTU, R3MRF, MQTT
Dimensões	4,0 x 6,8 13,8 cm
Peso	250 gramas

Fonte: Elaboração própria

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 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.

6.4 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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 (ANA, 2017). 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, 2016, 2017), 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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.

6.5 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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).

6.6 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:

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

(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, serão analisados em laboratório e deverão ser inseridos no banco de dados. A melhor forma de executar esse serviço evitando erros de digitação, é pedir que o laboratório envie os dados já num formato específico de entrada semiautomática no banco de dados.

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

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

e stampa 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.

7 CONCLUSÕES

O presente relatório 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 pela consultoria até o presente momento nos produtos 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 inicialmente 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

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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 produtos anteriores da presente consultoria.

Paralelamente à implementação das redes inicial e de dedicação exclusiva, seria implementada a 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 proposta, 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 exploração 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 exploração. Os

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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 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.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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. 1997. NBR 13895 Construção de poços de monitoramento e amostragem.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2017. Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada. Relatório final. Elaboração e execução: Consórcio ENGECORPS - WALM. Brasília.

BAPTISTA, V. S. G. 2020. Performance of different configurations of rooftop rainwater harvesting used for managed aquifer recharge: a stormwater management approach in an urban area. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29870>

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. 2022. Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2019-2021 [recurso eletrônico] / CETESB. Série Relatórios. ISSN 0103-4103. https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2023/03/QualidadeAguasSubterraneas-2019-2021_F.pdf.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

CETESB, 2020. 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.

COELHO, V. H. R. 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, 2011.

COSTA, W.D.C.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; BRANCO, R.L.C.; MARANHÃO, C.M.L.; GOLDFABER, M. 2007. Estudos de caracterização e verificação da disponibilidade hídrica da vertente litorânea do Estado da Paraíba. Estudos Hidrogeológicos. Relatório Final. Tomo I. Ministério da Integração Nacional.

COUTINHO, J.V., ALMEIDA, C.N., GADELHA, C.L.M., TARGINO, D.F., LINHARES, F.M., COELHO, V.H.R. 2013. 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 – pag197-212.

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. 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.

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.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

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.

Feitosa, Edilton Carneiro, 2008. HIDROGEOLOGIA - Conceitos e Aplicações. Título. CDD 551.49. ISBN 978-85-7499.

FERNANDES, L. A. 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. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 142p, 2017.

FREEZE, R. Allan; CHERRY, John A. Groundwater. Prentice-Hall, 1979.

GENARO, D. T. 2023. Relatório Anual da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - 2023: RIMAS / Daniele Tokunaga Genaro – Rio de Janeiro: CPRM, 2023.

KIANG, C. H.; CARNIER NETO, D. 2006. Automação no Monitoramento de Águas Subterrâneas. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2006, Belo Horizonte: ABAS-MG. 1 CD-ROM.

LOBO, G.A.; CAMPOS, J.E.; SANTOS, J. R.& MENDES, J. 2013. Variação Piezométrica Sazonal nos Aquíferos Bauru e Guarani no Estado de São Paulo. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves.

MARTINEZ, N. O. C. 2004. Monitoreo de Águas Subterrâneas. Bogotá: IDESAM – Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales.

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.

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.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

NIELSEN, David M. Ground Water Monitoring. CRC Press, 1993.

PIROTTI, R.; ZUCCOLOTTO M. Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes GSM e GPRS. Novo Hamburgo: Revista Liberato, 2009.

SCANLON BR, HEALY R, COOK P. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeol. J.10:347-21.

TARGINO, D. F. 2012. 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.

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.

TAYLOR, C.J. & ALLEY, W. M. 2001. Ground-Water-Level Monitoring and the Importance of Long-Term Water-Level Data. U.S. Geological Survey Circular 1217. Denver (CO).

TODD, David K.; MAYS, Larry W. Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons, 2005.

 GOVERNO DA PARAÍBA 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	 THE WORLD BANK IBRD • IDA
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_ Produto05_REV02.docx	

9 ANEXOS

9.1 ANEXO I - FICHAS DE CAMPO

9.2 ANEXO II – FICHAS DOS POÇOS DA REDE DE MONITORAMENTO DO SAPP

9.3 ANEXO III – SÉRIES HISTÓRICAS DO MONITORAMENTO DE NÍVEIS EM POÇOS SELECIONADOS PARA A REDE DO SAPP