

12 – CONFRONTOS ENTRE DEMANDAS E OFERTA DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAMAME

Para o estabelecimento de um plano de recursos hídricos na bacia hidrográfica, é necessário efetuar um diagnóstico da situação atual, considerando as demandas atuais, e as projeções de demanda para o futuro, assim como confrontar essas mesmas projeções com alternativas de modificação da estrutura hídrica, no sentido de aumentar a disponibilidade. Os resultados, neste contexto, devem ser comparados com as potencialidades, a fim de avaliar quais sub-bacias são mais propícias ao aumento da disponibilidade através de obras civis ou medidas administrativas.

As vazões de referência, as potencialidades e as vazões regularizáveis pelo açude Gramame Mamuaba foram calculadas no capítulo 10. As demandas hídricas para os diversos usos foram calculadas no capítulo 8 para o ano 2000, assim como para os diversos horizontes do plano.

É consensual que a bacia hidrográfica seja tomada como a unidade natural e adequada para se proceder aos confrontos objeto deste capítulo. No entanto, a unidade administrativa na qual se expressam as demandas é o município. Há portanto necessidade de se definir unidades para comparação conforme o caso. No caso da bacia hidrográfica do Rio Gramame, as maiores demandas são para a chamada Grande João Pessoa que abrange espacialmente parte da superfície da bacia hidrográfica do Rio Gramame e cujo abastecimento de população urbana é também parcialmente assegurado por recursos hídricos advindo de outras bacias hidrográficas, inclusive com transposição inter-bacias. Esta análise será efetuada nos parágrafos seguintes considerando a bacia hidrográfica como um todo e as diversas sub-bacias: sub-bacia do açude Gramame-Mamuaba, sub-bacia do rio Mumbaba e sub-bacia do rio Água Boa.

A água sustenta a existência dos ecossistemas naturais e as atividades humanas, dentre estas, os três setores da economia mentores do desenvolvimento, quais sejam os setores Primário, Secundário e Terciário. Consequentemente, sendo um recurso renovável finito, a água é, em caso de escassez ou impropriedade, um fator limitante ao desenvolvimento. Ou seja, a sustentabilidade hídrica de uma determinada região está diretamente associada ao seu potencial de desenvolvimento sócio-econômico. Em face destes conceitos, o diagnóstico, objeto da primeira parte deste capítulo, será analisado à luz de índices de sustentabilidade hídrica (Vieira e Vieira, 1995), definidos a seguir:

- IUD – Índice de Utilização da Disponibilidade, definido pela razão entre a demanda e a disponibilidade.
- IUP – Índice de Utilização da Potencialidade, definido pela razão entre a demanda e a potencialidade.
- IAP – Índice de Ativação da Potencialidade, definido pela razão entre a disponibilidade e a potencialidade.

Nesta primeira parte, todas as demandas são consideradas, assim como as disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas. Na segunda parte deste capítulo, guiado pelos resultados da primeira parte, diversos cenários de operação do sistema (cenários de oferta hídrica e cenários de demanda hídrica associados a priorização dos usos da água) serão considerados. Mapas de disponibilidades efetivas serão traçados a fim de orientar a elaboração do Plano Diretor. Nesta segunda parte, a disponibilidade subterrânea não é considerada, a qual, na bacia do rio Gramame, é utilizada principalmente para o abastecimento animal e o abastecimento da população rural. Também alguns poços suprem em água diversas indústrias na bacia. Durante o recente racionamento vivido pela Grande João Pessoa, a CAGEPA ativou ou reativou 42 poços na Grande João Pessoa, os quais tem capacidade de oferecer ao sistema 900 l/s. Segundo informações da CAGEPA, esta disponibilidade suplementar deve ser considerada apenas como emergencial, haja visto não existirem estudos e dados confiáveis sobre os aquíferos utilizados.

12.1 – Determinação dos índices de sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Gramame.

A potencialidade hídrica em água superficial da bacia hidrográfica do rio Gramame foi estimada em 10,21 m³/s, o que corresponde a um volume anual de 322,16 milhões de m³. Por sua vez, a potencialidade hídrica em água subterrânea foi estimada em 106,85 milhões de m³ por ano. Este último valor foi computado como as vazões médias de base dos rios da rede de drenagem da bacia, ou seja o seu valor já está incluído na potencialidade hídrica superficial. Assim, a potencialidade total a ser considerada é de 322,16 milhões de m³.

Para o abastecimento da Grande João Pessoa, atualmente são necessários 2.691 l/s. Destes, em condições normais de operação, ou seja, anteriormente aos recentes conflitos registrados na bacia, 425 l/s são retirados do rio Mumbaba através da captação de mesmo nome e conduzidos por adutora até a barragem do rio Marés; 116 l/s são supridos pelo sistema de Burraquinho e 225 l/s correspondem à disponibilidade exclusiva da barragem de Marés,

embora a ETA de Marés seja dimensionada para 1.200 l/s. A bacia hidrográfica do rio Gramame, quer seja diretamente através de sua adutora, via ETA de Gramame, quer seja através de transposição de água da bacia hidrográfica do rio Mumbaba para a bacia hidrográfica do rio Marés contribui com 2.230 l/s para o abastecimento da Grande João Pessoa. Os índices de sustentabilidade já mencionados serão calculados com esta demanda para o ano 2000. Para os horizontes do plano, quais sejam 2005, 2010 e 2020, no que concerne o abastecimento da Grande João Pessoa, consideram-se saturadas as disponibilidades respectivas das bacias do rio Marés e do sistema de Burraquinho. Desta forma, crescimentos da demanda previstos para estes horizontes terão que ser supridos pela bacia hidrográfica do rio Gramame, caso haja disponibilidade para isto. É a informação principal que o valor dos índices de sustentabilidade hídrica calculados neste item, fornecerá.

12.1.1 Caso da bacia do Rio Gramame

A demanda na Bacia do rio Gramame tem três usos principais: abastecimento urbano local, irrigação e exportação de água para a cidade de João Pessoa. A distribuição das águas da bacia entre estes diferentes usos é apresentada nas figuras 12.1 e 12.2. Observa-se que 60% das demandas são para a exportação de água para a cidade de João Pessoa. O equacionamento do importante abastecimento de João Pessoa é estratégico para o balanço hídrico da bacia do Rio Gramame. A figura 12.3 apresenta a demanda da bacia para todo o horizonte de projeto e observa-se que os as demandas evoluirão de 3,66 m³/s no horizonte 2000 para 4,84 m³/s no horizonte 2020.

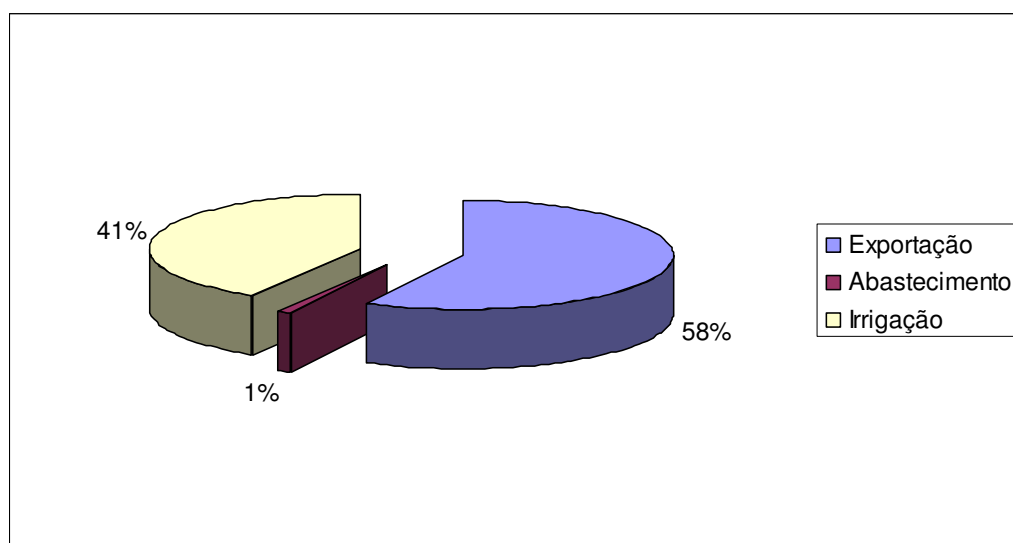


Figura 12.1 - Estrutura da Demanda na Bacia do Gramame

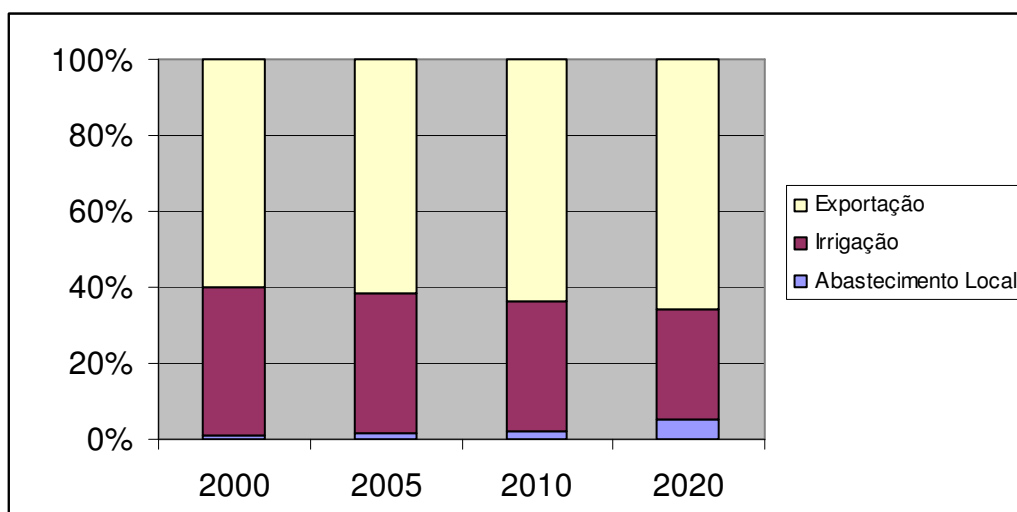


Figura 12.2 - Evolução da Estrutura da demanda

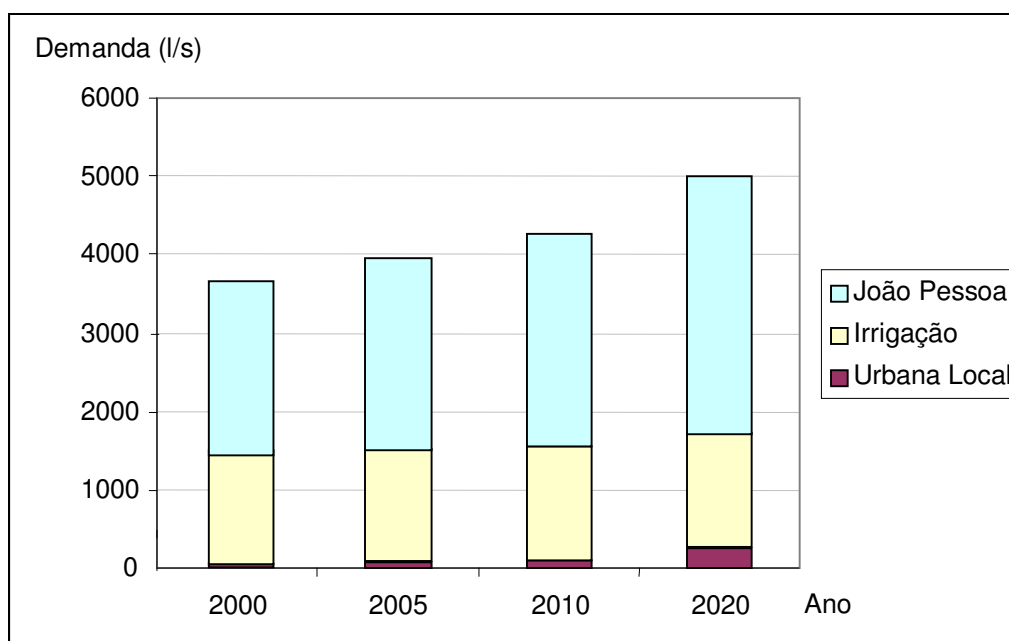


Figura 12.3 - Evolução da demanda na Bacia

Consequentemente, no cálculo dos índices de sustentabilidade mencionados acima, diversos cenários de demanda serão considerados como mostrado na tabela 12.1.

Tabela 12.1 – Cenários considerados para a bacia hidrográfica do rio Gramame.

Cenário	Descrição
A	A irrigação não é considerada
B	A demanda atual para a irrigação é considerada
C	50% da demanda atual para a irrigação é considerado
D	Um incremento da demanda atual para irrigação é considerado correspondendo a um incremento das terras irrigáveis em 2,5%

As disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas para a bacia hidrográfica são apresentadas na tabela 12.2 .

As disponibilidades apresentadas nesta tabela correspondem às vazões regularizáveis pelo açude de Gramame Mamuaba com garantias de 100% e 98% respectivamente às quais foram somadas as vazões de referências por trecho de rio. Os diversos cenários de uso a montante do açude Gramame-Mamuaba são considerados.

Tabela 12.2 – Disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Gramame (m³/s).

Disponibilidades em água subterrânea	0,263	
Disponibilidades em água superficial	100%	98%
Cenário A	3,22	4,24
Cenário B	2,53	3,44
Cenário C	2,88	3,68
Cenário D	2,53	3,35

Na tabela 12.3 os índices de sustentabilidade hídrica IUD, IUP e IAP são calculados com os valores de disponibilidade para os diversos cenários relativos à um nível de garantia de 100%. As demandas relativas à irrigação, para o cálculo destes índices no caso dos cenários B a D foram estimadas pela seguinte fórmula:

$$Q_I^* = Q_I - \sum Q_{I,M} + \sum D_{I,M}$$

onde Q_I^* representa a demanda para irrigação considerada no cálculo dos índices de sustentabilidade;

Q_I representa a demanda total para a irrigação;

$\sum Q_{I,M}$ representa as demandas para irrigação a montante do açude Gramame Mamuaba , e

$\sum D_{I,M}$ representa os déficits em atender a irrigação a montante do açude Gramame-Mamuaba

Essas demandas não variam para os diversos horizontes.

Tabela 12.3 – Índices de sustentabilidade para diversos cenários na bacia do rio Gramame

Cenário	IUD				IAP				IUP			
	2000	2005	2010	2020	2000	2005	2010	2020	2000	2005	2010	2020
A	0.85	0.96	1.09	1.34	0.32	0.32	0.32	0.33	0.27	0.31	0.35	0.44
B	1.09	1.23	1.39	1.71	0.32	0.32	0.32	0.33	0.36	0.40	0.44	0.53
C	0.94	1.06	1.20	1.49	0.32	0.32	0.32	0.33	0.32	0.36	0.41	0.49
D	1.14	1.29	1.45	1.77	0.32	0.32	0.32	0.33	0.38	0.42	0.47	0.55

12.1.2– Caso da sub-bacia hidrográfica do açude Gramame-Mamuaba

A potencialidade hídrica da sub-bacia do açude Gramame-Mamuaba foi estimada no capítulo 10 e corresponde a um volume anual de 122,1 milhões de m³. Os índices de sustentabilidade para esta sub-bacia são apresentados na tabela 12.4. No cálculo desses índices, os mesmos cenários de uso da água para a irrigação são considerados. Para o abastecimento da Grande João Pessoa, dois valores de demanda são considerados: o primeiro considera que a captação no rio Mumbaba, opera com 425 l/s e o segundo que a mesma opera com 600 l/s. Os valores de demanda para a grande João Pessoa na sub-bacia do Gramame-Mamuaba para os diversos horizontes, nessas condições, estão explícitas na tabela 12.5.

Tabela 12.4 - Índices de sustentabilidade para diversos cenários na sub-bacia do açude Gramame-Mamuaba.

Cenário	IUD				IAP				IUP			
	2000	2005	2010	2020	2000	2005	2010	2020	2000	2005	2010	2020
A	0.98	1.10	1.25	1.54	0,57	0,57	0,57	0,57	0.56	0.63	0.71	0.88
B	1.48	1.66	1.87	2.30	0,57	0,57	0,57	0,57	0.74	0.81	0.89	1.06
C	1.16	1.30	1.48	1.83	0,57	0,57	0,57	0,57	0.65	0.72	0.80	0.97
D	1.59	1.77	1.98	2.41	0,57	0,57	0,57	0,57	0.81	0.88	0.96	1.13

Tabela 12.5 – Demanda para o abastecimento da Grande João Pessoa na sub-bacia do açude Gramame-Mamuaba (m³/s).

Retirada em Mumbaba (m ³ /s)	2000	2005	2010	2020
0,425	1,805	2,080	2,358	2,925
0,600	1,980	2,255	2,533	3,100

12.1.3 – Caso da Sub-bacia hidrográfica do Rio Mumbaba

A potencialidade da sub-bacia do rio Mumbaba foi estimada no capítulo 10 e corresponde a um volume anual de 85,5 milhões de m³.

Os índices de sustentabilidade nessa bacia são calculados considerando todas as demandas nessa sub-bacia. Duas demandas relativas à grande João Pessoa são consideradas: 425 l/s e 600 l/s. Quanto à demanda para irrigação, quatro cenários são considerados conforme explicado na tabela 12.6

Tabela 12.6 – Cenários de demanda para a irrigação.

Cenário	Descrição
A	A irrigação não é considerada
B	Demanda atual para a irrigação
C	Demanda atual acrescida da necessidade para irrigar 2,5% das terras produtivas não irrigadas na bacia

Os resultados dos cálculos dos índices são notificados na tabela 12.7

Tabela 12.7 - Índices de sustentabilidade para diversos cenários na sub-bacia do rio Mumbaba.

Cenário		IUD				IAP				IUP			
		2000	2005	2010	2020	2000	2005	2010	2020	2000	2005	2010	2020
425 l/s	A	0,76	0,87	0,97	1,17	0,43	0,43	0,43	0,43	0,33	0,38	0,42	0,51
	B	0,86	0,97	1,07	1,27	0,43	0,43	0,43	0,43	0,37	0,42	0,46	0,55
	C	0,96	1,07	1,17	1,37	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,46	0,51	0,59
600 l/s	1-A	0,91	1,02	1,12	1,32	0,43	0,43	0,43	0,43	0,40	0,44	0,49	0,57
	1-B	1,02	1,12	1,22	1,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,48	0,53	0,62
	1-C	1,11	1,22	1,32	1,52	0,43	0,43	0,43	0,43	0,48	0,53	0,57	0,66

12.1.4 – Caso da sub-bacia hidrográfica do Rio Água Boa

A potencialidade da sub-bacia do rio Água Boa foi estimada no capítulo 10 e corresponde a um volume anual de 41,3 milhões de m³. A disponibilidade nessa bacia é praticamente inexistente, pois não existe nela obras de captação ou barragens a não ser a captação através de poços rasos para o abastecimento da cidade do Conde.

12.1.5 – Síntese do diagnóstico efetuado com os índices de sustentabilidade

Observando-se a tabela 12.3 onde são fornecidos os índices de sustentabilidade para toda a bacia do rio Gramame, constata-se:

- A demanda hídrica será praticamente igual à disponibilidade na bacia hidrográfica, a partir de 2005, caso nenhuma irrigação a montante do açude Gramame-Mamuaba for permitida, assim como nenhum consumo industrial por parte da GIASA (Cenário A).
- A situação atual é preocupante, pois as demandas superam as disponibilidades quando a irrigação a montante da barragem é considerada. Daí a explicação dos recentes conflitos ocorridos.
- Crescimento da irrigação a montante da barragem de Gramame-Mamuaba, aumenta de modo considerável e insustentável o valor do IUD.

- O IAP, índice de ativação da potencialidade é ainda relativamente baixo ($IAP = 0,32 < 0,60$). Isto indica haver na bacia hidrográfica possibilidade de aumento da disponibilidade. No entanto a distribuição espacial das demandas deve ser considerada para planejar este aumento.

A tabela 12.4, relativa à sub-bacia do açude Gramame-Mamuaba apresenta, uma situação altamente crítica. O valor de IAP é muito próximo de 0,6, o que indica ser difícil aumentar a disponibilidade nessa sub-bacia.

Na tabela 12.6 relativa à sub-bacia do rio Mumbaba, observa-se que na situação atual, desconsiderando a irrigação, isto é, proibindo toda retirada de água para irrigação na sub-bacia, se fornecer 600 l/s ao sistema da CAGEPA, a disponibilidade hídrica torna-se insuficiente já em 2005. No caso de um fornecimento de 425 l/s como ocorria até o ano passado, as demandas para a irrigação na sub-bacia podem ser supridas até 2005 (cenário B). Bem evidentemente, a situação piora com projeções de aumento das demandas para a irrigação (cenário C). Nesta sub-bacia, o IAP é de 0,43 indicando possibilidade de aumento da disponibilidade.

Esta possibilidade foi considerada na elaboração de um estudo de implantação de uma barragem na bacia. Um pré-dimensionamento indica ser possível construir uma barragem na bacia do rio Mumbaba com capacidade para armazenar 41,35 milhões de m^3 e regularizar uma vazão de 1,6 m^3/s . Nesta condição, os índices de sustentabilidade hídrica da bacia do rio Gramame melhoram substancialmente, e, observa-se da tabela 12.7, que com a demanda atual para a irrigação, a disponibilidade se tornaria insuficiente entre 2010 e 2020, provavelmente em torno de 2012 (cenário B). Considerando a proibição de irrigar a montante do açude de Gramame-Mamuaba (cenário A), até 2020, a disponibilidade da bacia seria suficiente para atender as demandas.

Os resultados apresentados nesta síntese não consideram a distribuição espacial das demandas e das ofertas de água. Também, a operação do reservatório de Gramame Mamuaba, e a possibilidade de restrições razoáveis de suprimento de água para irrigação, priorizando o abastecimento humano, não foram consideradas.

10.2 – Mapas das disponibilidades efetivas na bacia hidrográfica do rio Gramame para diversos cenários.

Os mapas de disponibilidades efetivas na bacia hidrográfica do rio Gramame serão efetuados para diversos cenários de oferta e de atendimento às necessidades em água

considerando ou não, dependendo dos cenários, prioridades de atendimento. O estudo será feito utilizando o MODSIM (Mag 4) descrito a seguir. Os pontos de cálculo são identificados na tabela 12.8 e representados no mapa da figura 12.4

Tabela 12.8 – Identificação dos pontos de cálculo.

Número da malha	Ponto Estratégico
42a	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
42b	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Não Prioritária)
43	Captação Cagepa (Mumbaba)
68	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
79	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
132	Captação Cagepa (Gramame)
132a	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
132b	Irrigação Difusa no rio Gramame (Não Prioritária)
133	Irrigação Difusa no rio Água Boa (Prioritária)
135	Água Boa (Alt II)
136	Irrigação Difusa no rio Água Boa (Prioritária)
158	Irrigação Difusa no rio Mumbaba (Prioritária)
185a	Irrigação Difusa no rio Mamuaba (Prioritária)
185b	Irrigação Difusa no rio Mamuaba (Não Prioritária)
194	Captação Cagepa (Conde)
219	Irrigação Difusa no rio Mamuaba (Prioritária)
265	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
302a	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
302b	Irrigação Difusa no rio Gramame (Não Prioritária)
328	Captação Indústria Giasa
346a	Irrigação Difusa no rio Gramame (Prioritária)
346b	Irrigação Difusa no rio Gramame (Não Prioritária)
347	Captação Cagepa (Pedras de Fogo)

12.2.1 – Descrição do MODSIM

O MODSIM faz parte de uma classe de modelos denominado de modelos de rede de fluxo. Os modelos de rede de fluxo na realidade misturam características dos modelos de simulação e otimização e podem incorporar as características estocásticas das vazões de entrada.

Os modelos de rede de fluxo (MRF) representam sistemas de recursos hídricos por uma rede formada de "nós" e "arcos". Os nós representam reservatórios, demandas, reversões, confluências, e outros pontos importantes de um sistema. Os arcos são os elos de ligação entre

FIGURA 12.4

os nós e representam trechos de rios, adutoras, canais e outras estruturas semelhantes.

Cada arco é caracterizado por três parâmetros, ou seja, os limites superior ($S_{i,j}$) e inferior ($I_{i,j}$) do fluxo que passa pelo arco (ex.: capacidade máxima e mínima de um canal) e um "custo" ($C_{i,j}$) por unidade de fluxo que transita pelo arco. Os custos podem ser positivos ou negativos, ou seja, podem representar uma penalidade (no caso de custo positivo), ou um prêmio (custo negativo). Este custo não significa, obrigatoriamente, um valor monetário, podendo representar preferências estabelecidas pelo usuário. As capacidades máxima e mínima de cada arco podem ser fixas para todo o período de simulação ou podem variar ao longo do tempo. O problema de otimização toma, portanto a forma:

$$\min \sum \sum C_{ij} \times Q_{ij}$$

sujeito a:

$$\sum Q_{ij} - \sum Q_{ki} = 0$$

e

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij}$$

onde: Q_{ij} = vazão que transita do nó j ao nó i

C_{ij} = custo (prioridade) da unidade de vazão que transita entre os nós j e i

N = número total de nós da rede

I_{ij} = limite inferior da vazão no arco ij

S_{ij} = limite superior da vazão no arco ij

A primeira equação é a função objetivo e representa o custo total da rede. A segunda estabelece que a rede deve ser totalmente *conservativa* (diz-se também *totalmente circulante*), ou seja, a soma das vazões afluentes ao nó i ($\sum Q_{ij}$) deve ser igual à soma dos fluxos que saem dele ($\sum Q_{ki}$). Esta é uma imposição do algoritmo que precisa ser obedecida incondicionalmente. A terceira equação representa o segundo tipo de restrição, ou seja, o valor da vazão em cada arco deve estar sempre na faixa limitada pelas capacidades mínimas e máximas do arco.

Cada nó deve conter as características da estrutura que representa. Por exemplo, se o nó " i " estiver representando um reservatório, o analista deve fornecer a relação cota-área-volume, os volumes máximos e mínimos de armazenamento, os níveis de armazenamento que se deseja atingir, o percentual de perdas por infiltração, a taxa de evaporação, etc.

Entre as características que tornam atrativa a utilização dessa classe de modelos para análise de sistemas de recursos hídricos, destacam-se as seguintes (Azevedo, Porto e Zahed, 1997):

- ⇒ Na grande maioria dos casos pode-se representar um sistema de recursos hídricos de forma adequada, realista, flexível e bastante clara como uma rede composta de nós e arcos;
- ⇒ Esses modelos possuem a flexibilidade típica dos modelos de simulação, ou seja, podem representar o comportamento de um sistema de recursos hídricos de forma bastante completa;
- ⇒ Modelos de rede de fluxo incluem também algoritmos de otimização que minimizam o custo total da rede, ou seja, determinam os fluxos em todos os arcos de tal forma que a somatória de todos os custos seja mínima.

Os MRF podem modelar também as interações entre águas superficiais e subterrâneas como, por exemplo, a diminuição das vazões dos rios devido ao bombeamento de aquíferos ou o retorno de vazões aos cursos de água através do subsolo.

Os algoritmos de otimização de redes de fluxo costumam ser altamente eficientes (ordens de magnitude mais rápido que o Simplex) o que significa que sistemas extremamente grandes e complexos podem ser tratados em microcomputadores comuns.

Embora modelos de rede sejam extremamente vantajosos, eles apresentam limitações. Os algoritmos de rede de fluxo otimizam apenas sistemas lineares, uma vez que aplicação de técnicas não lineares ainda não constitui tecnologia madura. A função objetivo é pré-definida e portanto não pode ser livremente especificada pelo usuário.

Estes algoritmos admitem também apenas os dois tipos de restrições acima citados. Como os sistemas de recursos hídricos costumam ser altamente condicionados, em alguns casos pode haver necessidade de adoção de artifícios para que seja obtida representação adequada.

Geralmente a otimização dos MRF é executada a cada intervalo de tempo, de forma seqüencial. O intervalo mensal é usualmente o mais utilizado para os problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, embora a técnica seja aplicável a intervalos mais curtos. Deve ser enfatizado, entretanto, que na maioria dos MRF a otimização efetuada não é dinâmica, ou seja, não se garante o ótimo global para um período de “*n*” intervalos de tempo à frente.

As perdas de condução em canais e evaporação em reservatórios representam um desvio da condicionante que impõe o balanço de massas. Tal fato não representa entretanto

grande problema uma vez que estas perdas podem ser calculadas por processos iterativos sem grande perda de eficiência.

Em resumo, os modelos de rede de fluxo reúnem características das técnicas de simulação e otimização. As características de flexibilidade e adaptabilidade dos modelos de simulação são quase que integralmente preservadas nos MRF, ao mesmo tempo que o algoritmo de otimização, apesar das limitações citadas, libera o usuário dos trabalhosos e demorados processos de tentativa e erro.

O modelo Modsim

O modelo Modsim é um modelo de rede de fluxo desenvolvido na Colorado State University sob a liderança do Prof. John Labadie (Labadie, 1988 e Azevedo, Porto e Zahed Filho, 1997). Influíram na escolha o fato de o Modsim ser um modelo generalizado, bem documentado, adaptado para simular as situações mais comuns que ocorrem em sistemas de recursos hídricos e testado em uma variedade de situações. No Brasil registram-se aplicações do modelo para simular o Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (Souza Filho e Porto, 1996), o sistema da bacia do rio Itapicuru (Porto et al, 1997 e Porto, 1999) e Jacuípe na Bahia (Porto, 1997).

Uma das principais características do Modsim é o fato de que o modelo incorpora automaticamente uma série de funções que são comuns na simulação de bacias hidrográficas sem que o usuário tenha que se preocupar em programá-las. Entre elas as mais importantes são:

- ⇒ os usuários podem colocar quantos nós de demanda forem necessários para levar em conta as demandas na bacia (consuntivas ou não). O modelo atenderá a estas demandas de acordo com um valor de prioridade atribuída pelo usuário, que pode variar de 1 a 99 (o valor 1 é a maior prioridade). Na realidade as prioridades P e os custos C estão relacionados de forma biunívoca ($C = 10P - 1000$), o que significa que os valores de C que representam prioridades são sempre negativos. Portanto, ao atender uma prioridade o modelo estará diminuindo os custos da rede de um valor C por unidade de vazão fornecida.
- ⇒ a operação dos reservatórios é feita utilizando-se o conceito de *volume meta* ou *nível meta*, ao qual se atribui uma prioridade. Desta forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório guardará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores. O volume

armazenado acima do nível meta tem custo zero, ou seja, é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades.

⇒ as perdas por evaporação dos reservatórios são levadas em conta por meio de processo iterativo

⇒ modelo calcula a produção de energia elétrica (de ponta ou de base) desde que sejam fornecidas as características da usina.

⇒ modelo faz o balanço água superficial - água subterrânea, desde que sejam fornecidas as características do aquífero.

O *Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões* da Escola Politécnica da USP desenvolveu uma interface gráfica para facilitar a aplicação do Modsim, chamada de *ModsimP32*. Esta interface foi desenvolvida no formato típico de um sistema de suporte a decisões, ou seja, estão presentes em sua estrutura um módulo de diálogo, uma base de dados e uma base de modelos, que no presente caso é constituída apenas pelo Modsim.

O módulo de diálogo permite que toda a topologia do problema seja formulada apenas com a utilização do mouse e de uma série de ícones (que representam reservatórios, canais, nós de passagem, etc.). Ao se acionar o botão dois do mouse sobre cada um destes ícones tem-se acesso à base de dados da estrutura representada pelo ícone acionado. Após a execução do programa os resultados podem ser consultados em forma tabular ou gráfica. Os dados e resultados podem ser facilmente exportados para planilhas eletrônicas e processadores de texto utilizando-se as funções específicas do Windows 95/98. Da mesma forma, os dados de entrada podem ser importados de planilhas.

12.2.2 – Descrição dos cenários considerados

A primeira seqüência de cenários é relativa à situação atual, tanto no que concerne à infra-estrutura hídrica como à inexistência de operação do sistema, ou seja, não existe prioridades para os diversos usos da água e não existe níveis de alerta no açude de Gramame – Mamuaba. Quatro cenários são construídos conforme a tabela 12.9, cada um sendo relativo a um horizonte do plano.

Considera-se nos cenários seguintes (ver tabela 12.10), regras de operação do sistema com níveis de alerta no açude de Gramame-Mamuaba correspondendo a 50% (caso A) e 25% (caso B) do volume acumulado e as regras de prioridades descritas na tabela 12.11. No que concerne as regras de prioridade, uma distinção foi feita em relação à irrigação da cana de açúcar e dos outros cultivos, estes últimos, principalmente a fruticultura, apresentando

sensibilidade maior à escassez de água ao mesmo tempo em que tem valor econômico importante.

Tabela 12.9 – Identificação dos cenários 1 a 4.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL SEM VOLUME META NO GRAMAME-MAMUABA E SEM PRIORIDADES	
HORIZONTE	CENÁRIO
2000	1
2005	2
2010	3
2020	4

Tabela 12.10 – Identificação dos cenários 5 a 8.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL COM VOLUME META NO GRAMAME-MAMUABA E PRIORIDADES	
VOLUME META = 50% (CASO A)	VOLUME META = 25% (CASO B)
HORIZONTE	CENÁRIO
2000	5 (A e B)
2005	6 (A e B)
2010	7 (A e B)
2020	8 (A e B)

Tabela 12.11 – Regras de prioridades

FINALIDADE DE USO	PRIORIDADE
Abastecimento Humano	1
Armazenamento do Volume Meta	20
Irrigação Prioritária	50
Irrigação Não Prioritária	90

Nos cenários 9 a 12 (ver tabela 12.12), observa-se a situação supondo ser construído o açude Mumbaba.

Tabela 12.12 – Identificação dos cenários 9 a 12.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA COM VOLUME META E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2005	1600 l/s	1060 l/s	9 (A e B)
2010	1600 l/s	1370 l/s	10 (A e B)
2020	1600 l/s	1920 l/s	11 (A e B)
2020	1000 l/s	2520 l/s	12 (A)

No cenário 14 (tabela 12.13), imagina-se construir na sub-bacia hidrográfica do açude Gramame-Mamuaba, no município de Pedras de Fogo, um pequeno reservatório de regularização com uma capacidade de armazenamento de 8 milhões de m³. O índice IAP daquela bacia indicou não ser recomendado a construção de um açude com maior possibilidade de armazenamento. Nas simulações com este reservatório considerou-se que a cidade de Pedras de Fogo era abastecida pelo mesmo.

Tabela 12.13 - Identificação do cenário 14.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA + R8 COM VOLUME META (50%) E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2020	1000 l/s	2520 l/s	14

Nos cenários 15 e 16 (ver tabelas 12.14 e 12.15), acrescentou-se aos cenários 12 e 14 respectivamente a possibilidade de importação de uma vazão de 1.000 l/s da bacia hidrográfica vizinha, a bacia dos rios Papocas e Abiaí. Esta importação, nos cenários efetuados, seria efetivada dentro do açude de Gramame-Mamuaba.

Tabela 12.14 - Identificação do cenário 15.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA + PAPOCAS COM VOLUME META (50%) E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2020	1000 l/s	2520 l/s	15

Tabela 12.15 - Identificação do cenário 16.

INFRA-ESTRUTURA ATUAL + MUMBABA + R8 + PAPOCAS COM VOLUME META (50%) E PRIORIDADES			
HORIZONTE	DEMANDA DA CAGEPA	DEMANDA DA CAGEPA	CENÁRIO
	NO PONTO 43	NO PONTO 132	
2020	1000 l/s	2520 l/s	16

12.2.3 – Resultados

Os diversos cenários apresentados anteriormente permitem uma visão espacial da situação dos recursos hídricos na bacia para os diferentes horizontes do plano. Eles foram construídos com o objetivo de responder às seguintes questões:

- Qual o padrão espacial e temporal de falhas na bacia?
- Há água para garantir o abastecimento da Grande João Pessoa?
- Qual o impacto da exportação de águas para a Grande João Pessoa no atendimento às demandas da bacia? Há conflito entre estes usos?
- Qual o impacto da implantação do reservatório no rio Mumbaba?
- Qual o impacto da implantação do reservatório no alto Gramame?
- O que ocorre com o padrão de falhas se houver importação de águas no rio Abiaí-Papocas?
- Consegue-se reduzir as falhas para o abastecimento de água da Grande João Pessoa a partir de um zoneamento dos reservatórios com vistas a operação dos mesmos?
- O abastecimento das cidades do Conde e Pedras de Fogo é garantido?

Os resultados para os diferentes trechos do rio nos diferentes cenários analisados obtidos das diversas simulações são mostrados nas tabelas 12.16 a 12.37. As tabelas apresentam a localização espacial do ponto (número codificado pelo AÇUMOD e localizado no mapa da figura 12.4) e os resultados do sistema sob a ótica dos seguintes parâmetros de avaliação de performance:

- Valor da demanda
- Falha percentual: é a percentagem do tempo (em meses) em que o sistema não garantiu o abastecimento de toda a demanda
- Falha volumétrica: é o volume percentual da demanda que não pode ser abastecida durante todo o período de simulação
- Duração Média da Falha: é o número de meses que em média que perdurou as falhas do sistema
- Duração máxima da Falha: É o número de meses de duração da falha mais longa ocorrida durante a simulação
- Magnitude: é o volume total do racionamento ocorrido em todos os meses consecutivos de uma falha
- Severidade: é a razão entre magnitude e duração da falha

Um critério foi adotado para indicar se a situação em termo do balanço hídrico local é aceitável (cor verde), tolerável (cor laranja), ou insustentável (cor vermelha). As situações são

descritas geograficamente através dos mapas de disponibilidade efetiva (apresentados no final deste capítulo).

Os resultados são analisados com vistas a responder as questões propostas anteriormente.

Questão I: Qual a Estrutura de Falha do Sistema?

A análise dos cenários 1 à 4 respondem esta pergunta com relação as falhas obtidas para a infra-estrutura atual.

Observa-se que o cenário 1 (Horizonte 2000) apresenta falhas de 30% para o abastecimento da Grande João Pessoa e falhas significativas na bacia do Mumbaba, com pontos de demanda tendo 75% de falha. Na bacia do Gramame a demanda 265 apresenta falha volumétrica de 93%. Nos demais cenários onde a demanda é maior acentuam-se as falhas.

A avaliação destes cenários indica que com a infra-estrutura atual não é possível garantir um abastecimento do sistema para uma exploração socialmente e economicamente sustentável da bacia. Sendo necessário para este fim a construção de nova infra-estrutura hídrica. Este cenário sugere a construção de um novo reservatório no rio Mumbaba devido a alta frequência de falha.

Questão II: Avaliação do reservatório Mumbaba

Os cenários 9 a 12 avaliam o impacto da implantação do reservatório Mumbaba. Observa-se que a construção deste reservatório reduz a falha significativamente na retirada para a Grande João Pessoa a jusante do reservatório, mostrando o quão interessante e prioritário é este reservatório para o sistema.

Estes cenários discutem o fato de que pode-se inclusive elevar em 70% as retiradas para João Pessoa previstas para este reservatório (1.000 l/s) e o mesmo tem condições de atender-las de maneira firme. Aumentos de até 150% na vazão de retirada de 600 l/s foram realizadas (1.600 l/s); nestes cenários apresentou falha de 7 a 10% dependendo da regra de operação do reservatório.

Questão III: Operação Zoneada do Reservatório

Operou-se os reservatórios Gramame-Mamuaba e Mumbaba com duas zonas cada. Uma zona superior onde o mesmo liberaria água para todas as demandas que ele suprisse e uma zona inferior que abasteceria exclusivamente a cidade de João Pessoa e imporiam racionamento a montante para prover água para João Pessoa.

Os cenários 11 A,B e 12A mostram a importância desta operação no ocorrência das falhas na bacia. A operação diminui efetivamente as falhas em João Pessoa e aumentam a falha nas demais demandas na Bacia. Em pontos de demanda do Mumbaba no Cenário 11, por exemplo, tem-se um aumento nas falhas de até 60% do seu valor no ponto 42b. Este fato indica que é útil a operação zoneada do reservatório para garantir maior segurança ao abastecimento de João Pessoa e explicita o conflito existente entre a demanda de João Pessoa e os demais usos na bacia.

Questão IV: a construção do reservatório de regulação no Alto Gramame

A comparação dos cenários 12A e 14 sugere que o reservatório Alto Gramame reduz as falhas na alta bacia. Esta redução na falha volumétrica é de 38% para 19% na demanda 328; observa-se também que este reservatório reforça o abastecimento de João Pessoa. Este fato indica que este reservatório não reduz a regularização do Gramame ao contrário, amplia-a, assim como, as falhas observadas anteriormente para o abastecimento da cidade de Pedras de Fogo, são suprimidas.

Questão V: Importação do Abiaí-Papocas

Esta análise foi realizada considerando cenários com a importação de água para a bacia hidráulica do açude Gramame-Mamuaba com vistas a mitigar o impacto à exportação para João Pessoa. A importação para a bacia do Gramame seria realizada a partir da bacia do rio Abiaí-Papocas. O valor estimado para esta importação é de $1\text{m}^3/\text{s}$ ($32\text{ hm}^3/\text{ano}$).

A comparação dos cenários 14 e 16 indica o impacto desta importação. A importação de água do Abiaí-Papocas reduz significativamente as falhas na região de montante do reservatório Gramame e introduz níveis de garantia superiores a 95% em todas as demandas a jusante do reservatório, sendo o abastecimento de João Pessoa garantida durante toda a série simulada.

12.2.4 Síntese dos resultados

A infra-estrutura hídrica atual não satisfaz às demandas atuais do sistema. A construção de um reservatório de aproximadamente 41 milhões de m^3 no rio Mumbaba se torna imperativa e urgente. O mesmo, com nível de alerta em 50% da sua capacidade poderá fornecer para o abastecimento da Grande João Pessoa uma vazão firme de 1.000 l/s. No alto curso do rio Gramame, no município de Pedras de Fogo, é recomendável estudar a construção de um reservatório de regularização da ordem de 8 milhões de m^3 . Este reservatório permitirá

mitigar os conflitos inevitáveis entre os irrigantes e o abastecimento de água da Grande João Pessoa, assim como suprir, de modo satisfatório, o abastecimento da cidade de Pedras de Fogo. No entanto, é interessante notar que o principal beneficiado por essa construção seria a empresa Agroindustrial GIASA. O estudo aponta para um ganho importante com a operação dos reservatórios. Recomenda-se um nível de alerta correspondendo a 50% da capacidade dos reservatórios. Sendo o nível acima do nível de alerta, não haverá restrições às demandas. Abaixo deste nível, restrições no suprimento de água para irrigação seriam feitas começando pela irrigação da cana de açúcar. Deve-se avaliar a possibilidade de importação de água para a bacia com vistas a minimizar o impacto da exportação para João Pessoa possibilitando a disponibilização do insumo água para a implantação de nova infra-estrutura produtiva no setor primário ou secundário. Tal importação poderia ser efetivada a partir de 2010.

12.3 – Referências Bibliográficas

- AZEVEDO, L.G.T, PORTO, R.L. e ZAHED, K., 1997, *Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo*, Capítulo 4 in *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*, ABRH-EUFRGS.
- LABADIE, J. W., 1988, *MODSIM: Technical Manual, River Basin Network Model for Water Rights Planning*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1995
- PORTO, R. L., *Estudos de Operação do Sistema França - São José do Jacuípe*, Relatório Técnico para a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, 1997
- PORTO, R. L., *Estudos de Operação do Reservatório de Ponto Novo no Rio Itapicuru*, Relatório Técnico para a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, 1999
- PORTO R. L., et Al. “*Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento De Recursos Hídricos*”, editor, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1997.
- SOUZA FILHO, F. A., PORTO, R. L. 1996, *Operação do Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza por Modelo de Rede de Fluxo*, Terceiro Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, ABRH.
- VIEIRA, Luiz A. de Almeida; & VIEIRA, Vicente P. P. B. *Recursos Hídricos e o Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Nordestino*. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e II Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Vol. 2: Desenvolvimento Sustentável dos Recursos Hídricos. Recife, PE, ABRH, 5 a 9 de novembro de 1995.