

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

MANIFESTAÇÃO DE INTERESSE 20150002/CEL 04/SRH/CE
SOLICITAÇÃO DE PROPOSTAS (SDP) Nº 01
PROCESSO – VIPROC Nº 0777305/2016

CONTRATO Nº 02/PFORR/SRH/CE/2016



**EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DOS
INSTRUMENTOS DE GESTÃO COM FOCO NA OUTORGA,
COBRANÇA E FISCALIZAÇÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS NO CEARÁ**

RELATÓRIO 08 - DISPONIBILIDADE EFETIVA



MAIO/2017



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

CONTRATO 02/PFORR/SRH/CE/2016

**EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DOS
INSTRUMENTOS DE GESTÃO COM FOCO NA OUTORGA,
COBRANÇA E FISCALIZAÇÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS NO CEARÁ**

**FASE II - CONCEPÇÃO DA ESTRATÉGIA DE INTEGRAÇÃO DOS
INSTRUMENTOS DE GESTÃO: OUTORGA, COBRANÇA E
FISCALIZAÇÃO**

ETAPA 1 – REVISÃO DA FÓRMULA DE CÁLCULO DA COBRANÇA

RELATÓRIO 08 - DISPONIBILIDADE EFETIVA

MAIO/2017



APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento consiste no **Relatório 08 - Disponibilidade Efetiva da Fase II - Concepção da estratégia de integração dos instrumentos de gestão: Outorga, Cobrança e Fiscalização**, relativo aos Estudos de Análise e Integração dos Instrumentos de Gestão com Foco na Outorga, Cobrança e Fiscalização, consoante a Solicitação de Propostas (SDP) Nº 01 que resultou no Contrato 02/PFORR/SRH/CE/2016 firmado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a IBI Engenharia Consultiva S/S.

Os produtos a serem apresentados em forma de relatórios técnicos das atividades desenvolvidas são os seguintes:

- Plano de Trabalho
- Fase I - Atualização da matriz tarifária
 - Relatório 01 - Revisão dos custos fixos e variáveis dos sistemas de recursos hídricos
 - Relatório 02 - Revisão da capacidade de pagamento
 - Relatório 03 - Revisão do subsídio cruzado
 - Relatório 04 - Consolidação da Fase I – Atualização da matriz tarifária 3,35%
- Fase II - Concepção da estratégia de integração dos instrumentos de gestão: Outorga, Cobrança e Fiscalização

Etapas 1 - Revisão da fórmula de cálculo da cobrança

- Relatório 05 - Adoção de bandeiras tarifárias
- Relatório 06 - Qualidade da água
- Relatório 07 - Eficiência do uso da água
- Relatório 08 - Disponibilidade efetiva
- Relatório 09 - Volume outorgado
- Relatório 10 - Consolidação da Etapa 1 - Revisão da fórmula de cálculo da cobrança

Etapas 2 - Estudos de viabilidade: cobrança

- Relatório 11 - Sistema de cobrança em função da garantia de uso
- Relatório 12 - Seguro para atividades agrícolas
- Relatório 13 - Mecanismos de compensação financeira
- Relatório 14 - Fundo de reserva para eventos extremos
- Relatório 15 - Proposição de novas categorias tarifárias

- Relatório 16 - Consolidação da Etapa 2 - Estudos de viabilidade: cobrança

Etapa 3 – Estudos de viabilidade: outorga

- Relatório 17 - Experiências internacionais com outorga e alocação de água
 - Relatório 18 - Análise do fluxo processual de outorga de água
 - Relatório 19 - Análise do fluxo da alocação negociada da água
 - Relatório 20 - Outorga coletiva de uso da água
 - Relatório 21 - Revisão do manual de outorga
 - Relatório 22 - Consolidação da Etapa 3 - Estudos de viabilidade: outorga
 - Relatório 23 - Etapa 4 - Estudos de viabilidade: fiscalização
- Fase III - Descrição da articulação necessária para adaptação das alterações propostas
- Relatório 24 - Consolidação da descrição da articulação necessária para adaptação das alterações propostas



ÍNDICE

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	8
2 - CONCEPÇÃO PRELIMINAR DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA.....	10
3 - ANÁLISE DA VIABILIDADE DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA	13
3.1 - ASPECTO HIDROLÓGICO-ECONÔMICO (HIDROECONÔMICO).....	13
3.2 - IMPACTO DA ENTRADA DE NOVOS USUÁRIOS DE ÁGUA NO USUÁRIOS HISTÓRICOS DA BACIA	16
3.3 - DELIMITAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO PARA A DEFINIÇÃO DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA.....	17
3.4 - RELEVÂNCIA E EFETIVIDADE DO FDE NA ALOCAÇÃO DE EMPREENHIMENTOS	18
4 - PROPOSTA METODOLÓGICA.....	21
4.1 - METODOLOGIA DE CÁLCULO E OS GATILHOS	21
4.2 - SITUAÇÕES DE DISPONIBILIDADE.....	25
4.3 - PROPOSTAS E CENÁRIOS DE APLICAÇÃO	25
5 - ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA ATUAL	29
5.1 - DADOS UTILIZADOS	29
5.1.1 - Pluviometria	29
5.1.2 - Fluviometria	30
5.1.3 - Evaporação	30
5.1.4 - Dados dos reservatórios.....	30
5.2 - MODELO DE SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIOS	30
5.3 - CÁLCULO DAS VAZÕES REGULARIZADAS	31
6 - SISTEMA JAGUARIBE - METROPOLITANO.....	34
6.1 - MODELO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO	36
6.2 - OFERTA HÍDRICA.....	37
6.2.1 - Vazões afluentes.....	37
6.2.2 - Taxa de evaporação e Curva Cota-Área-Volume	45
6.2.3 - Volumes máximos e mínimos.....	46
6.3 - DEMANDA HÍDRICA	46
6.4 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	52
6.4.1 - Simulação 1.....	53
6.4.2 - Simulação 2.....	61
7 - REFERÊNCIAS.....	68



1- INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Os Sistemas Hídricos (Hidrossistemas) possuem diferentes índices de utilização do seu potencial de oferta, isto é, diferentes severidades de escassez relativa aos recursos hídricos. Esta medida pela razão entre a demanda instalada e a oferta atual com dada garantia.

Coloca-se desta forma as seguintes questões para o gerenciamento de recursos hídricos:

- Faria sentido promover através da gestão dos recursos hídricos uma distribuição espacial da demanda que produzisse maiores garantias?
- Quais instrumentos de gestão poderiam ser utilizados para incentivar uma distribuição da escassez relativa mais homogênea no território?
- O sistema de cobrança poderia dar um sinal da severidade da escassez relativa levando a uma alocação mais eficiente das demandas nos diferentes subsistemas, promovendo inclusive migração dos empreendimentos entre regiões e consequente realocação das atividades econômicas entre os subsistemas?
- O único instrumento para a alocação das demandas à longo prazo em dado subsistema é a outorga? Sendo a potencial alocação ou realocação dos empreendimentos durante o pedido ou renovação das mesmas?

A questão de fundo é se cabe ou não à cobrança pelo uso da água um papel na alocação ou realocação de água entre os subsistemas ou se este papel é exclusivamente da outorga.

O objetivo deste relatório é avaliar a viabilidade de um fator de cobrança por subsistema hídrico que onere os sistemas com maior nível relativo de utilização da disponibilidade hídrica atual, denominado aqui de Fator de Disponibilidade Efetiva (FDE).

Integra também esse item a classificação do status de disponibilidade hídrica atual por sistema hídrico para os sistemas hídricos responsáveis pela transferência de água entre bacias hidrográficas.

2 - CONCEPÇÃO PRELIMINAR DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA

2 - CONCEPÇÃO PRELIMINAR DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA

O Fator de Disponibilidade Efetiva tem por objetivo informar o nível de escassez relativa da água em determinado sistema hídrico através do preço da água. Desta forma, o mesmo deve ser incorporado ao modelo atual de cobrança pelo uso da água.

O modelo atual de cobrança no estado do Ceará é do tipo monomial e cobra-se apenas pela quantidade de água conforme exposto na equação a seguir:

$$T(u) = T \times V_{ef} \quad (1)$$

Onde,

$T(u)$ = tarifa do usuário U ;

T = tarifa-padrão sobre volume consumido;

V_{ef} = volume mensal consumido pelo usuário.

Este modelo pode ser inovado acrescentando-se componentes da cobrança associada à qualidade da água, eficiência do uso e reescrevendo a formulação da cobrança como apresentado na Equação 2.

$$Cobrança = (T(u) + T_L(u)) \times K_u \quad (2)$$

Em que,

$T_L(u)$ - Corresponde a tarifa de água imposta sobre a qualidade de água. Esta compõe-se de duas parcelas. A primeira referente ao lançamento de efluentes nos corpos hídricos e a segunda cobrança associada à qualidade da água recebida pelos diferentes setores usuários;

K_u é o coeficiente que adapta o mecanismo de cobrança à eficiência de uso.

No modelo acima, acrescenta-se também o Fator de Disponibilidade Efetiva (FDE). Ele consistiria em uma função que relacionaria a cobrança pelo uso da água com a escassez relativa medida pela razão entre a demanda e a oferta atual como descrito na Equação 3.

$$K_{FDE} = f\left(\frac{D_{ATUAL}}{O_{ATUAL}}\right) \quad (3)$$

Esta é uma função crescente, onde K_{FDE} é o coeficiente do fator de disponibilidade efetiva, D é demanda atual (D_{atual}) instalada no hidrossistema, oferta atual máxima (O_{Atual}) disponível no hidrossistema na garantia de referência (90%).

A equação da Cobrança pelo uso da água incorporando o coeficiente do fator de disponibilidade efetiva pode ser escrita como apresentada na Equação 4.

$$Cobrança = (T(u) + T_L(u)) \times K_u \times K_{FDE} \quad (4)$$

3 - ANÁLISE DA VIABILIDADE DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA

3 - ANÁLISE DA VIABILIDADE DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA

A avaliação de viabilidade do Fator de Disponibilidade Efetiva (FDE) remete à, pelo menos, quatro dimensões de análise: (i) hidrológico-econômica; (ii) impacto da elevação da cobrança devido a entrada de novos usuários nos usuários históricos da bacia; (iii) delimitação espacial de sua aplicação (sistema hídrico ou subbacia); (iv) relevância e efetividade deste FDE na alocação de empreendimentos em face de outros fatores econômicos, sociais e ambientais.

3.1 - ASPECTO HIDROLÓGICO-ECONÔMICO (HIDROECONÔMICO)

A legislação estadual (Lei nº 14.844 de 2010) estabelece que o volume máximo alocável de um determinado manancial superficial é noventa por cento da vazão com garantia de 90% (Q90). Sendo esta regularização calculada na infraestrutura atualmente implantada, não sendo incorporada à infraestrutura futura. Sendo esta a oferta atual (O_{Atual}) máxima para o hidrossistema ao qual está associada.

Quando a demanda atual (D_{atual}) é inferior a Q_{90} , a garantia de abastecimento desta demanda é muito superior a 90%, tendo em vista que a garantia cresce com o decréscimo da vazão utilizada. Nestes sistemas, as falhas são menos frequentes e com possibilidade de serem menos severas que em sistemas em que o Q_{90} foi totalmente alocado.

A medida que frações maiores de vazão outorgável vão sendo outorgadas há um decréscimo na garantia do sistema e aumento potencial da severidade das secas. Este processo de desenvolvimento da bacia afeta todos os usos, impactando em especial os que requerem maiores garantias principalmente o abastecimento de populações humanas.

Duas alternativas surgem neste contexto: (i) estabelecer volumes alocáveis com diferentes garantias (discutido em outro relatório); (ii) estabelecer critérios de entrada ou permanência variáveis com a razão demanda e oferta atuais (D_{atual} / O_{atual}).

A primeira alternativa protege os usos prioritários e com maior capacidade de pagamento. Esta alternativa não mitiga o impacto do crescimento da demanda na

bacia. Os usuários de água não perceberão de forma direta e imediata a relação entre estas garantias e o crescimento da demanda na bacia. Esta percepção se dará unicamente nos extremos de secas.

A segunda alternativa trata explicitamente deste problema e pode, em princípio, ser instrumento desta alocação espacial. Há dois mecanismos que podem impor restrição de entrada: (i) mecanismo de comando e controle que pode ser operado através do mecanismo da outorga de uso; (ii) incentivo econômico através do custo de acesso à água crescer com o aumento da escassez relativa ($D_{\text{atual}} / O_{\text{atual}}$). Este aumento de custo seria implementado através da cobrança pelo uso da água.

A outorga, ao conferir direito de uso, torna-se o instrumento por excelência para o controle da entrada e saída de usuários de água em um hidrossistema. Os critérios de outorga são político-administrativos e podem, através de sua discussão no Conselho Estadual de Recursos Hídricos e nos comitês de bacia, conseguir maior consenso social. A definição dos limites e regras de barreira de entrada de novos usuários em uma bacia podem ser construídos; não obstante, estes terão grande dificuldade de serem mantidos quando de empreendimentos de grande relevância econômica ou social. Adicionalmente, há grande dificuldade em retirar usuários históricos do sistema mesmo quando da renovação da outorga.

A utilização de incentivos econômicos através da implantação do fator de disponibilidade é uma alternativa. Este fator distinguiria as bacias hidrográficas em função da razão entre a demanda atual e da oferta atual máxima que é a medida da escassez relativa. Esta razão varia de zero a um. Quanto mais próxima de um, maior seria o valor a ser cobrado. O fator da disponibilidade efetiva (K_{FDE}) modela o aumento de preço devido ao aumento da escassez relativa.

À medida que novos usuários de água se instalem ou que os usuários atuais aumentem sua demanda (cidades), o fator da disponibilidade efetiva aumenta, aumentando o preço da água. Este aumento do preço é um sinal da escassez. Mantidos inalterados os demais critérios de seleção do local para se instalar (*coeteris*

paribus), espera-se que o novo agente se instale no hidrossistema com menor preço da água.

Observa-se, no entanto, que o aumento de preço deverá ocorrer para todos os usuários do hidrossistema e não apenas aos novos, o que significará mudança de preço para os usuários históricos na bacia. Este fato pode ser observado de dois ângulos. O primeiro como um sinal que indica para o usuário histórico que ele deve procurar maior eficiência de uso e que ele considere a possibilidade de deslocar seu uso econômico para outro hidrossistema. Por este ângulo o sinal é favorável. O outro ângulo de visada mostra o impacto nos usos históricos sociais ou vulneráveis economicamente que teriam mais uma pressão financeira que poderia impor-lhe impacto significativo. Por este ângulo o sinal é desfavorável. Estratégia de proteção dos mais vulneráveis é requerida.

Observa-se que, em bacias em desenvolvimento, onde há a possibilidade de aumento da oferta hídrica através da construção de infraestrutura de armazenamento de água, há a possibilidade de aumento da oferta hídrica com a garantia de referência (90% no caso do Ceará). Neste caso, teria uma redução no fator de disponibilidade hídrica, o que seria um incentivo negativo a conservação de água pelos usuários, levando-os a adiar investimentos em conservação de água. Esta seria uma limitação desta abordagem.

Observa-se, no entanto, que no Ceará as bacias hidrográficas, em sua totalidade, estão chegando ao máximo de sua capacidade de seu potencial de regularização plurianual. Há um pequeno número de reservatórios deste porte para serem construídos que produzam incremento de vazão regularizada. As bacias estão chegando a seu nível de saturação quanto a sua capacidade de regularização. Novos reservatórios podem vir a serem construídos com a função de distribuir espacialmente a água no território sem produzir aumento na regularização global na bacia hidrográfica.

Desta forma, não deve ser observado o efeito da construção de novas infraestruturas no Ceará reduzindo de forma significativa o valor do Fator de Disponibilidade Hídrica.

3.2 - IMPACTO DA ENTRADA DE NOVOS USUÁRIOS DE ÁGUA NOS USUÁRIOS HISTÓRICOS DA BACIA

O aumento no valor cobrado pela água para os usuários históricos na bacia derivado da incorporação de novos usuários ou mesmo do crescimento das demandas instaladas inicialmente (ex. crescimento populacional nas cidades), como anteriormente mencionado, é devido ao aumento da razão entre demanda pela oferta hídrica.

Estes aumentos de custo associado à redução da garantia podem alimentar conflitos e resistência por parte dos usos históricos com relação aos novos usos.

Algumas alternativas podem ser pensadas para contornar este problema, tais como:

- Definir o fator de disponibilidade quando da emissão da outorga de uso e este fator ser constante durante todo o período de validade da outorga. Esta estratégia requereria que fosse associado a cada usuário, individualmente, um fator de disponibilidade. Isto pode não ser muito prático.
- Definir ciclos de atualização do fator, isto é, o fator da disponibilidade efetiva (K_{FDE}) seria atualizado a cada quatro ou cinco anos havendo, pois, uma certa previsibilidade com a definição de quando se dará a decisão e na expectativa de aumento associada ao conhecimento pelos usuários do crescimento da demanda.
- Criar um fator de progressividade do aumento de preço da água devido ao aumento do K_{FDE} , isto é, o aumento do fator seria distribuído em um prazo de quatro a cinco anos. Esta estratégia, no primeiro momento interessante, poderia levar a elevado custo e complexidade operacional.

A definição de ajustes do fator em ciclos de quatro a cinco anos parece ser a mais interessante. Estes ajustes poderiam coincidir com o período de atualização dos planos de bacia hidrográfica; daria mais robustez aos instrumentos de gestão do Plano, Outorga e Cobrança.

O aumento do preço da água para usuários históricos, que sejam social e economicamente mais vulneráveis, deve ser evitado. Desta forma, usuários com estas

características poderão não ter incorporado no cálculo do valor a ser pago o Fator de Disponibilidade Hídrica.

3.3 - DELIMITAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO PARA A DEFINIÇÃO DO FATOR DE DISPONIBILIDADE EFETIVA

A definição da abrangência e configuração do sistema hídrico para o qual se fará o cálculo do Fator de Disponibilidade Efetiva é decisivo para a efetividade do mesmo.

Suponha a utilização de todo o estado do Ceará como unidade para o cálculo do Fator de Disponibilidade Efetiva (FDE). Neste caso, não haveria incentivo diferencial para o empreendimento se localizar em uma região em detrimento de outra, perdendo a função o FDE.

O cálculo do FDE para cada região hidrográfica poderia ser uma aproximação interessante. No entanto, temos, em cada uma das doze regiões hidrográficas do Ceará, situações hídricas muito diferentes em seu interior, podendo subsistir grandes diferenças quanto à escassez relativa dos recursos hídricos dentro de uma mesma região hidrográfica.

A identificação de sistemas de recursos hídricos poderia ser um caminho para a implantação do FDE. Em uma primeira aproximação, definir-se-ia sistema de recursos hídricos como um conjunto de mananciais, infraestruturas e demandas de recursos hídricos interligados e interdependentes em sua operação de curto e médio prazo. A definição deste prazo de operação é relevante, pois, no longo prazo, a bacia hidrográfica em sua totalidade seria o menor sistema a ser considerado.

De forma concreta teríamos como sistema de recursos hídricos os vales perenizados por sistemas de reservatórios e demandas do vale do Curu e do vale do Jaguaribe, assim como, seria um sistema de recursos hídricos a ser considerado o reservatório Patu e seus usuários de irrigação e abastecimento urbano.

Para cada um destes sistemas seria realizada uma avaliação da oferta e da demanda para o cálculo da FDE.

O problema adicional está associado às transferências de bacia. A transposição poderia ser analisada como mais um usuário a se instalar na bacia. Neste caso, faz-se necessário considerar dois problemas combinados: (i) o aumento da escassez relativa na bacia pela via do aumento da demanda; (ii) a imposição de custo adicional aos residentes da bacia ao afetar o FDE. Dois fatores que ampliam o conflito pelo uso da água.

De início faz-se necessário reafirmar que a água não pertence aos usuários de uma dada bacia hidrográfica, não obstante o forte elemento cultural de pertencimento a uma bacia hidrográfica levar a identificação do recurso hídrico ali existente, ter como beneficiário primário os residentes na bacia. Nesta perspectiva, não haveria a necessidade de nenhuma medida adicional.

Considerando-se o potencial conflitivo observado em todas as transposições de bacia, inclusive as transposições internas já realizadas no Ceará, é interessante considerar ajustes que reduzam o potencial litigioso entre bacia doadora e bacia receptora. Uma forma seria o cálculo do FDE para usuários locais da bacia diferente dos usuários de fora da bacia. A ideia seria incorporar a demanda de transposição apenas para os usuários da transposição, não incorporando para os usuários internos da bacia. Haveria, desta forma, uma diferença de preço da água em um dado sistema hídrico para o usuário que deseje se instalar na bacia receptora e o usuário instalado na bacia doadora, sendo mais barato nesta última. Este mecanismo seria um incentivo para instalação na bacia doadora.

3.4 - RELEVÂNCIA E EFETIVIDADE DO FDE NA ALOCAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS

Alguns empreendimentos têm flexibilidade na definição do seu local de implantação. Para estes, o custo da água pode vir a ser um fator a ser considerado na tomada de decisão.

A relevância da diferença do preço da água na definição de onde um empreendimento será instalado depende de um largo conjunto de variáveis, tais como, (i) quantidade de água demandada; (ii) vantagem econômica comparativa entre as regiões das

infraestruturas necessárias para a produção do bem; (iii) proximidade dos centros de demanda e custo de transporte do mesmo; (iv) sustentabilidade ambiental para a implementação do empreendimento (ex. irrigação tipo solo ou tecnologia e corpo receptor de efluentes para lançamentos industriais).

Torna-se difícil definir, em função das diferentes configurações de fatores associados a empreendimentos, qual o impacto do preço da água na decisão final de alocação. Não obstante este fato, pode-se inferir que, para usos hidro intensivos, o custo da água é fator relevante sendo considerado na matriz de decisão. Testemunho deste fato são as negociações realizadas pelo Governo do Ceará para a definição do preço da água para usuários com grande demanda por recursos hídricos.

Em todo caso, o FDE é sinal da escassez relativa dos recursos hídricos em uma bacia e sua existência possibilita, em certa medida, a incorporação desta informação na tomada de decisão para a decisão da alocação e definição das medidas de conservação de água a serem adotadas pelos usuários da água. O valor adicional a ser cobrado na FDE com relação ao preço base é importante neste contexto.

4 - PROPOSTA METODOLÓGICA

4 - PROPOSTA METODOLÓGICA

A proposta metodológica será construída em três etapas. Na primeira serão definidas a metodologia de cálculo e os gatilhos, em seguida serão estabelecidas as diferentes situações em que se encontram as disponibilidades hídricas e finalmente serão construídas diferentes propostas e cenários de aplicação.

4.1 - METODOLOGIA DE CÁLCULO E OS GATILHOS

A equação da Cobrança pelo uso da água incorporando o coeficiente do fator de disponibilidade efetiva pode ser escrita como apresentada na Equação 5, rerepresentada em seguida.

$$Cobrança = (T(u) + T_L(u)) \times K_u \times K_{FDE} \quad (5)$$

Onde:

$T(u)$ - tarifa do usuário u devida em função do volume consumido;

$T_L(u)$ - Corresponde a tarifa de água imposta sobre a qualidade de água. Esta compõe-se de duas parcelas. A primeira referente ao lançamento de efluentes nos corpos hídricos e a segunda, cobrança associada à qualidade da água recebida pelos diferentes setores usuários (discutido no relatório sobre qualidade da água);

K_u é o coeficiente que adapta o mecanismo de cobrança à eficiência de uso (discutido no relatório sobre eficiência do uso da água);

K_{FDE} é o coeficiente do fator de disponibilidade efetiva.

Estes componentes da cobrança são independentes e podem ser removidos a critério dos tomadores de decisão da política de água.

O coeficiente do fator de disponibilidade efetiva mede a escassez relativa de água em um determinado sistema de recursos hídricos. A medida da escassez relativa pode ser realizada pela razão entre a demanda e a oferta hídrica.

O K_{FDE} tem por objetivo informar o nível de utilização atual da oferta em um hidrossistema, desta forma pode-se tomar a demanda atual como a medida da demanda (D_{atual}).

A oferta pode ser considerada como a oferta potencial ou a oferta atual (fração do potencial já ativado por infraestrutura, como reservatório ou poços, por exemplo). Utilizar o potencial evitaria o efeito da redução K_{FDE} devido ao aumento da oferta, no entanto, levaria a uma falsa avaliação da oferta efetivamente disponível, além da dificuldade em avaliá-lo. Neste caso, transparece que a disponibilidade hídrica atual é mais adequada.

Observa-se na **Figura 4.1** a evolução temporal do processo de ativação do potencial hídrico em uma bacia a partir da construção de infraestruturas. Observa-se que há uma fase inicial onde a construção destas infraestruturas aumenta de forma significativa a oferta atual disponível. Chegando a um ponto em que o potencial hídrico foi praticamente todo ativado. A primeira fase denomina-se de “desenvolvimento da infraestrutura”, a segunda de “fase de alocação”, já que o problema da “escassez relativa” atual não pode ser resolvido com aumento da oferta. As bacias hidrográficas no Ceará encontram-se majoritariamente na fase alocativa. Desta forma, não se espera grande impacto no K_{FDE} devido ao aumento da oferta local.

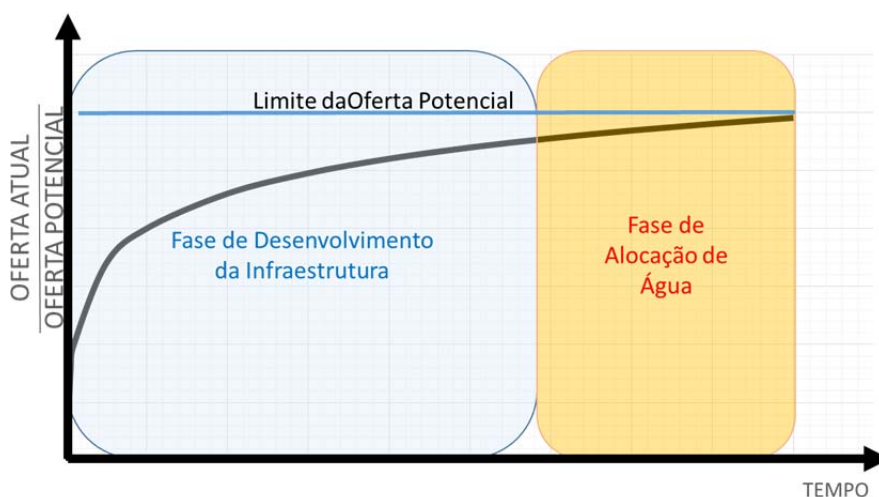


Figura 4.1 - Evolução da ativação do potencial hídrico em uma bacia

A oferta que será utilizada para o cálculo da oferta de um hidrossistema será a oferta local, sendo desconsiderada a disponibilidade oriunda da importação de água através de transposições de bacia. A incorporação das águas da transposição produziria efeito adverso na estimativa do K_{FDE} .

A oferta hídrica atual considera a disponibilidade superficial separadamente da disponibilidade subterrânea. Sendo implementado, primeiramente, o Fator de Disponibilidade Efetiva para as águas superficiais.

A oferta hídrica atual para os mananciais superficiais é definida como 90% da vazão regularizada com 90% de garantia dos reservatórios em operação.

O Fator da Disponibilidade Hídrica (K_{FDE}) é uma função crescente contínua ou em patamares da escassez hídrica relativa (D_{atual}/O_{atual}). Observa-se na **Figura 4.2** que variação não linear com derivada crescente pode ser mais interessante que variações lineares, isto porque pune com elevações de preços maiores o crescimento da demanda próxima a valores de D/O igual a 1,0. Desta forma, utilizar-se-á variações não lineares.

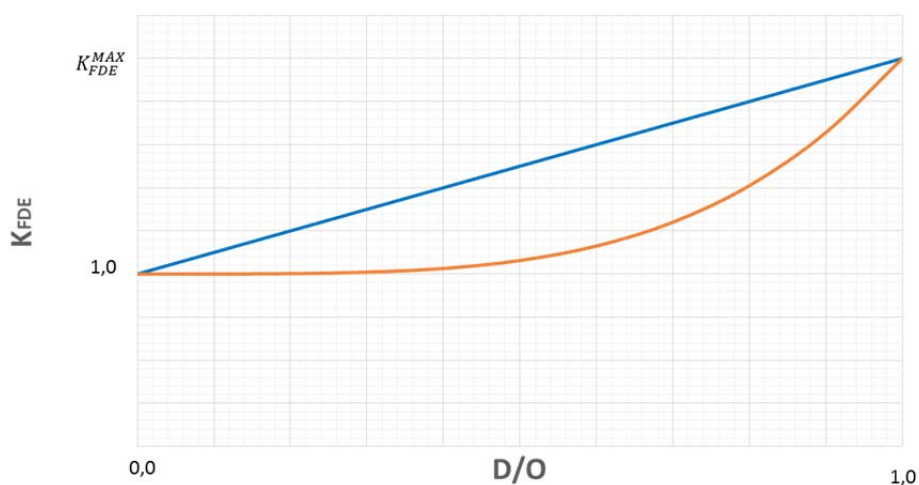


Figura 4.2 - Variação do Fator da Disponibilidade Hídrica (K_{FDE}) com a escassez relativa (D/O). Variação linear (azul) e variação não linear (laranja)

Opta-se, no entanto, por funções de patamares devido ao inconveniente de funções contínuas requererem variação contínua no valor de K_{FDE} e que importaria um nível de precisão maior na estimativa da oferta e demanda incompatíveis com as possibilidades práticas. A **Figura 4.3** apresenta a variação em patamares. A função utilizada na figura é uma bi-quadrática que pode ser descrita pelas Equações 6-9.

$$0,0 \leq \frac{D_{ATUAL}}{O_{ATUAL}} < 0,6 \rightarrow K_{FDE} = 1 \quad (6)$$

$$0,6 \leq \frac{D_{ATUAL}}{O_{ATUAL}} < 0,8 \rightarrow K_{FDE} = 1 + \frac{1}{5}(K_{FDE}^{MAX} - 1) \quad (7)$$

$$0,8 \leq \frac{D_{ATUAL}}{O_{ATUAL}} < 0,9 \rightarrow K_{FDE} = 1 + \frac{3}{5}(K_{FDE}^{MAX} - 1) \quad (8)$$

$$0,9 \leq \frac{D_{ATUAL}}{O_{ATUAL}} \rightarrow K_{FDE} = K_{FDE}^{MAX} \quad (9)$$

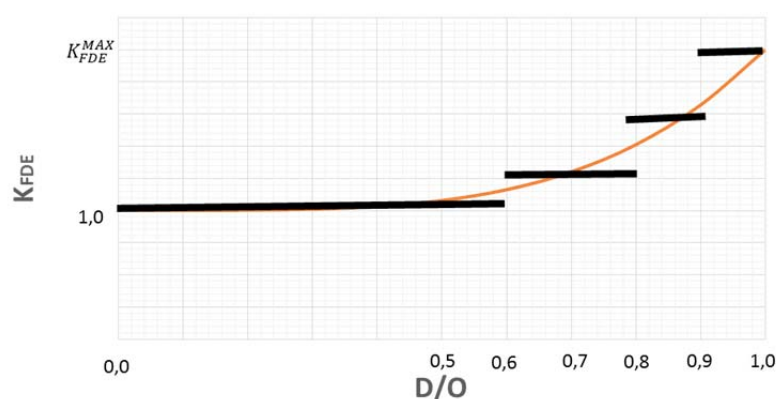


Figura 4.3 - Variação do Fator da Disponibilidade Hídrica (K_{FDE}) em patamares seguindo uma função não linear

O valor do Fator da Disponibilidade Hídrica Máximo (K_{FDE}^{MAX}) pode ter como primeira aproximação o intervalo de variação entre 1,3 e 1,5, ou seja, um aumento de 30% a 50% no preço da água em bacias que já estejam com a demanda instalada próximas a disponibilidade máxima atual.

Observou-se que usuários históricos vulneráveis social e economicamente não poderiam ser penalizados com aumento de preço devido ao aumento da demanda instalada na bacia. A Equação 10 modifica o valor K_{FDE} para incorporar este parâmetro

de equidade. Nesta equação, δ_i é o delta de Dirac, que tem valor igual a 1 para usuários não vulneráveis e valor igual a zero para usuários vulneráveis.

$$K'_{FDE} = 1 + \delta_i (K_{FDE} - 1) \quad (10)$$

A equação da cobrança modificada para incorporar o Fator da Disponibilidade Hídrica (K_{FDE}) modificado é apresentada na Equação 11.

$$Cobrança = (T(u) + T_L(u)) \times K_u \times K'_{FDE} \quad (11)$$

4.2 - SITUAÇÕES DE DISPONIBILIDADE

A situação da disponibilidade hídrica quanto à escassez relativa da água pode ser definida em quatro classes: (i) satisfatória; (ii) normal; (iii) crítica; (iv) muito crítica.

A situação satisfatória permite expansão da demanda admitindo-se todos os usos. Na situação normal, a expansão deve ser moderadamente controlada observando-se de forma mais atenta à relevância social do uso. Na situação crítica, sinais de restrições mais severos devem ser dados. Na situação muito crítica, apenas usos de grande relevância social e econômica poderão gerar novas demandas.

Os limiares da escassez hídrica relativa medida pela razão entre oferta e demanda que definem estas classes foram definidas, neste trabalho, pelo *ad hoc* como sendo 60%, 80% e 90%. As Equações de 6 a 9 e a **Figura 4.3** utilizam estes limiares na definição do Fator da Disponibilidade Hídrica (K_{FDE}).

4.3 - PROPOSTAS E CENÁRIOS DE APLICAÇÃO

Os sistemas de recursos podem ser classificados para efeito da análise aqui pretendida em três grupos:

- i. Sistemas locais: constituído de um reservatório e de demandas urbanas e irrigação;
- ii. Vales perenizados: constituído de múltiplos reservatórios abastecendo grandes demandas urbanas e irrigação;
- iii. Grandes Sistemas Integrados através de Transposição de Bacia: neste caso, há atualmente o sistema Jaguaribe-Metropolitano.

A metodologia deverá ser inicialmente adotada para sistemas hídricos superficiais.

A delimitação do sistema de recursos hídricos é o passo inicial. Nesta delimitação, deve-se observar que a vinculação entre os diversos componentes do sistema deve se dar no horizonte de curto e médio prazo como discutido anteriormente. Para tanto, deve-se utilizar como critério haver ligação hidráulica através da calha do rio no período seco (perenização) ou transferência hídrica por canais ou adutoras entre os centros de oferta e da demanda no sistema em foco.

Definido o sistema, deve-se calcular a vazão com garantia de 90% para o mesmo, sendo este o valor da disponibilidade hídrica atual (O_{ATUAL}). A Equação 12 mostra o cálculo da Oferta Atual.

$$O_{ATUAL} = \sum_{i=1}^{nof} (0,9 \cdot Q_{90\%,i}) \quad (12)$$

Onde: *nof* é o número de mananciais a ser considerado, *i* é um contador numérico, $Q_{90\%,i}$ é a vazão garantia de 90% para o manancial *i*. Observa-se que apenas mananciais locais, isto é, que não são considerados de transposição, serão contabilizados em *n*.

Em seguida, calcula-se a demanda do sistema hídrico sem considerar as demandas oriundas de transposições. A Equação 13 mostra o cálculo da Demanda Atual.

$$D_{ATUAL} = \sum_{i=1}^{nd} (DU_i) \quad (13)$$

Onde: *nd* é o número de centros de demanda e DU_i é a demanda do usuário *i*.



Calcula-se, em seguida, o índice de escassez hídrica medido pela razão entre demanda e oferta atual. Para se calcular o Fator da Disponibilidade Hídrica (K_{FDE}), aplicam-se as Equações de 6 a 10.

Finalmente, calcula-se o valor a ser cobrado utilizando-se a Equação 11.

5 - ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA ATUAL

5 - ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA ATUAL

A análise da disponibilidade hídrica atual pelos parâmetros estabelecidos no modelo de cobrança pela disponibilidade hídrica efetiva consiste no cálculo da vazão com 90% de garantia e, sobre este valor, aplicar um fator de redução de 10%.

Segue-se o cálculo da vazão regularizada para os diversos reservatórios de regularização plurianual construídos no Ceará segundo estudos do Grupo de Gerenciamento Climático para a Sustentabilidade Hídrica da Universidade Federal do Ceará.

A definição de valores para vazão regularizada leva em consideração diversas variáveis, tais como: série de vazões afluentes, cota-área-volume, evaporação sobre o lago, etc. No presente relatório faz-se uso das informações geradas na regionalização com vistas à obtenção de valores de referência para vazão regularizada.

Os reservatórios selecionados para avaliação da capacidade de regularização foram aqueles monitorados pela COGERH, os quais tiveram suas vazões afluentes geradas pela metodologia de regionalização.

Alguns reservatórios, porém, não foram contemplados por limitações na aplicação da metodologia de regionalização ou por apresentarem valores duvidosos nas vazões. Estas últimas observações são justificadas por reservatórios terem suas características fisiografias da bacia fora do intervalo utilizado para geração do modelo regional e, conseqüentemente, parâmetros que não representam satisfatoriamente o processo de chuva – vazão.

5.1 - DADOS UTILIZADOS

5.1.1 - Pluviometria

As séries de precipitação média sobre as bacias dos reservatórios foram obtidas pela aplicação do método de Thiessen para os postos pluviométricos da rede de monitoramento da FUNCEME e SUDENE, localizados internamente e nas proximidades das bacias.

5.1.2 - Fluviometria

Foram utilizadas, no presente estudo, as séries fluviométricas obtidas a partir dos estudos de regionalização dos parâmetros do modelo SMAP mensal.

5.1.3 - Evaporação

As séries de evaporação são aquelas disponíveis no banco de dados das normais climatológicas do INMET. Estas são evaporações observadas em evaporímetros de piche e distribuídas ao longo dos meses. Para representar a evaporação sobre os reservatórios, adotaram-se oitenta por cento (80%) dos valores da variável Evaporação Média.

5.1.4 - Dados dos reservatórios

Os dados dos reservatórios, tais como: volumes mínimo, máximo e cota-área-volume; foram fornecidos pela COGERH.

5.2 - MODELO DE SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

O modelo utilizado para definição das vazões regularizadas trata-se de um modelo de simulação da operação de reservatórios que utiliza a solução direta da equação do balanço hídrico. A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser representada por:

$$V_{t+1}(i) = V_t(i) + Qa_t(i) - Qd(i) - Qv(i) - Ev_t(i) \frac{A_t + A_{t+1}}{2} + \sum_{j=N_i} Qv_t(j) \quad (14)$$

em que V é o volume armazenado no reservatório, Q_a o volume afluente ao reservatório, Q_d o volume regularizado, Q_v o volume vertido pelo reservatório, A a área superficial do espelho d'água do reservatório, E_v a lâmina d'água evaporada a partir da superfície, t o índice que representa a discretização temporal mensal, i o índice que representa os reservatórios do sistema e N_i o conjunto de reservatórios imediatamente a montante do reservatório i .

As seguintes restrições devem ser satisfeitas durante a simulação da operação dos reservatórios:

$$V_{\min}(i) \leq V_{t+1}(i) \leq V_{\max}(i)$$

$$Q_a, Q_v, Q_d \geq 0$$

Nos períodos de não atendimento da vazão regularizada definida, devido ao volume atingir o valor mínimo operacional, o modelo retira o máximo possível do valor de regularização para o período.

5.3 - CÁLCULO DAS VAZÕES REGULARIZADAS

A tabela a seguir apresenta os valores obtidos para a vazão regularizada, em m³/s, com garantia de 90%.

Tabela 5.1 - Vazões Regularizadas dos Reservatórios

Reservatório	Cod	Q ₉₀ (m³/s)	Reservatório	Cod	Q ₉₀ (m³/s)	Reservatório	Cod	Q ₉₀ (m³/s)
Acaraú Mirim	1	0.73	Favelas	6	0.51	Prazeres	14	0.12
Adauto Bezerra	32	0.05	Flor do Campo	172	0.12	Premuoca	62	0.09
Amanary	45	0.28	Fogareiro	119	3.42	Quandú	79	0.04
Angicos	112	0.66	Forquilha	51	1.24	Quincoé	68	0.20
Aracoiaba	234	5.03	Frios	77	1.26	Quixabinha	15	0.04
Araras	31	12.56	Gangorra	169	0.70	Quixeramobim	16	1.26
Arneiroz II	240	3.03	Gavião	95	0.42	Realejo	54	*
Arrebita	83	0.46	General Sampaio	7	4.17	Riachão	117	0.10
Atalho	47	0.63	Gomes	36	0.04	Riacho do Sangue	17	3.49
Ayres de Souza	49	3.93	Itaúna	180	0.56	Rivaldo de Carvalho	174	0.19
Banabuiú	2	13.56	Jaburu II	52	0.70	Rosário	181	0.34
Barra Velha	163	0.38	Jatobá	135	*	S. Ant. de Aracat.	50	0.14
Benguê	177	0.31	Jenipapeiro	171	0.19	S. Ant. de Russas	19	0.91
Bonito	64	0.04	Jerimum	121	0.09	S. Maria de Aracat.	55	0.02
Cachoeira	170	0.35	Joaquim Távora	28	0.25	S. Pedro Timbaúba	21	0.92
Canafistula	74	*	Lima Campos	63	0.29	Salão	18	0.15
Canoas	127	0.39	Madeiro	164	*	Santo Antônio	233	*
Capitão Mor	33	*	Malcozinhado	235	0.43	São Domingos	141	0.10
Caracas	43	0.19	Manoel Balbino	8	0.11	São José II	85	0.73
Carão	65	*	Martinópolis	126	0.39	São Mateus	20	0.26
Carmina	236	*	Mons. Tabosa	161	0.04	São Vicente	81	0.19
Carnaubal	53	0.67	Muquém	168	0.69	Serafim Dias	99	0.28
Castanhão	194	49.52	Nova Floresta	26	0.17	Sítios Novos	159	1.73
Castro	97	2.72	Olho d'Água	155	0.13	Sobral	22	*
Catucinzenta	223	0.15	Orós	9	10.43	Souza	160	0.68
Cauhipe	158	0.19	Pacajus	80	7.05	Sucesso	66	0.18
Caxitoré	3	0.81	Pacoti	88	5.33	Tatajuba	75	0.01
Cedro	4	0.01	Parambu	89	0.03	Tejuçuoca	92	0.90
Cipoda	84	3.42	Patos	56	0.15	Thomás Osterne	23	0.11

Reservatório	Cod	Q ₉₀ (m ³ /s)	Reservatório	Cod	Q ₉₀ (m ³ /s)	Reservatório	Cod	Q ₉₀ (m ³ /s)
Colina	133	0.05	Patu	10	0.82	Trapiá II	96	0.12
Cupim	34	0.07	Pau Preto	148	0.02	Trapiá III	129	0.26
Desterro	178	0.15	Pedras Brancas	11	4.05	Trici	24	0.46
Diamante	60	0.09	Pentecoste	12	10.25	Trussu	122	1.62
Do Coronel	134	0.01	Pirabibu	167	0.96	Tucunduba	58	1.64
Edson Queiroz	5	2.39	Poço da Pedra	27	0.09	Ubalzinho	162	0.26
Ema	30	*	Poço do Barro	67	2.51	Valério	110	0.01
Estrema	118	0.19	Poço Verde	90	0.11	Várzea do Boi	25	0.31
Faé	239	0.99	Pompeu Sobrinho	13	*	Vieirão	130	0.01
Farias de Sousa	59	0.05	Potiretama	82	0.08			

6 - SISTEMA JAGUARIBE - METROPOLITANO

6 - SISTEMA JAGUARIBE - METROPOLITANO

A análise que se segue da transposição de água do sistema Jaguaribe e Metropolitano baseiam-se em estudos anteriores sobre Segurança Hídrica deste sistema, desenvolvidos pelo Grupo de Gerenciamento Climático para a Sustentabilidade Hídrica da Universidade Federal do Ceará.

O Sistema Jaguaribe-Metropolitano (**Figura 6.1**) é o principal sistema de reservatório do Estado do Ceará abastecendo a cidade de Fortaleza. A porção metropolitana, sistema local, é composta por cinco reservatórios que somam uma capacidade de acumulação de 871 hm³ (**Tabela 6.1**), são eles: Gavião, Pacoti e Riachão, Pacajus e Aracoiaba, sendo estes reservatórios interligados por canais e adutoras. Enquanto que a porção do Jaguaribe é representada pelos reservatórios Orós (1.940 hm³), Banabuiú (1.601 hm³) e Castanhão (6.700 hm³), que somam uma capacidade de acumulação de 10.241 hm³. Descontado o volume de espera de cheia do Castanhão, o volume útil deste sistema para os usos urbanos, irrigação e industrial é 8.002 hm³ sendo que 56% desta capacidade é oriunda deste reservatório.

O sistema local é constituído de obras de estocagem de água (**Tabela 6.1**) e obras de transferência hídrica (canais, adutoras e estações elevatórias).

Tabela 6.1 - Capacidade dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Local de Fortaleza

Reservatórios	Municípios	Capacidade (hm ³)
Aracoiaba	Aracoiaba	170,7
Pacajus	Pacajus	240,0
Pacoti	Horizonte	380,0
Riachão	Itaitinga	47,0
Gavião	Pacatuba	32,9
Total		871,00

As duas regiões hidrográficas, Jaguaribe e Metropolitana, são interligadas por duas obras de transferência hídrica: o Canal do Trabalhador e o Eixão das Águas. O primeiro foi construído em 1993 e capta água do rio Jaguaribe aduzindo-as até o açude Pacajus por meio de um canal de adução de 98,58 km.

O Eixão das Águas (**Figura 6.1**) constitui-se de um complexo de estação de bombeamento, canais, sifões, adutoras e túneis e está dividido em cinco trechos. A transposição por essa infraestrutura inicia-se imediatamente à jusante da barragem Castanhão, localizado na bacia do Médio Jaguaribe, e é concluída nos Açudes Pacoti-Riachão. O canal de transposição estende-se por 255 km e supre demandas até o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), localizado no município de São Gonçalo do Amarante na RMF.

O processo de transferência hídrica é marcado por conflitos locais e inter-regionais. Esses conflitos ganham visibilidade no processo de alocação de água. Em muitos casos, eles significam uma forma de dominação e disputa referente ao desenvolvimento do território.



Figura 6.1 - Localização do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Para gerir esses conflitos é necessária uma gestão integrada e descentralizada que utilize como instrumento uma base de informações consolidadas e que tenha a participação de todos os setores. Essa participação deverá melhorar e aprofundar a sustentabilidade da oferta e demanda e a segurança da sociedade em relação à disponibilidade e vulnerabilidade. Também é preciso integrar pesquisadores com os diversos setores de usuários de água a fim de criar novas possibilidades de governança.

A operação e simulação do sistema de abastecimento, neste estudo, foram realizadas por meio de um modelo de simulação e otimização que permite a análise integrada do balanço hídrico mensal considerando todos os reservatórios, canais e adutoras, assim como as demandas hídricas para os diferentes usos na bacia do Jaguaribe e Metropolitanas.

6.1 - MODELO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

O modelo de simulação foi construído utilizando o programa Acquanet. Desenvolvido pelo laboratório de Sistema de Apoio à Decisão da Escola Politécnica da USP (LABSID, 2002), esse programa funciona com uma estrutura modular constituída de um módulo base, denominado AcquaNet, e de módulos para cálculo de alocação de água, avaliação da qualidade da água, determinação de alocação de água para irrigação, produção de energia elétrica e consideração de valores econômicos nas decisões de alocação (PORTO et al, 2014).

O ACQUANET simula a operação dos hidrossistemas (reservatórios e demandas) e a alocação de água pela aplicação de um sistema de prioridades e custos otimizados pelo algoritmo Out-of-Kilter, utilizando dois tipos de simulação: simulação contínua e planejamento tático. A simulação contínua foi escolhida para a realização deste trabalho. Nela o algoritmo utiliza um ano inicial e um número total de anos da simulação. Os hidrossistemas são avaliados e, como respostas, obtêm-se tabelas e gráficos sobre as acumulações dos reservatórios, vazão transportada entre trechos, demandas atendidas, entre outros resultados.

Utilizou-se o programa para a modelagem da rede de abastecimento de água bruta da Região Metropolitana de Fortaleza, mostrada na **Figura 6.2**. Nesta, os triângulos com contorno azul representam os reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitano e os quadrados de contorno rosa simbolizam as demandas hídricas dos reservatórios (ou trechos).

6.2 - OFERTA HÍDRICA

O levantamento da oferta hídrica foi realizado buscando-se conhecer as características do sistema de abastecimento. Nesta seção, serão apresentadas as vazões afluentes dos reservatórios, as taxas de evaporação, bem como os volumes máximos e mínimos de cada um dos reservatórios que compõe o sistema Jaguaribe-Metropolitano.

6.2.1 - Vazões afluentes

As séries de vazões afluentes utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram obtidas através do relatório de estudos de regionalização de vazões para as bacias dos reservatórios do estado do Ceará, publicado por UFC/COGERH (2013). Neste relatório, as séries de vazões foram obtidas utilizando-se o modelo SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*) com discretização mensal. As vazões compõem uma série mensal para o período entre janeiro de 1912 e dezembro de 2012. A **Figura 6.3** apresenta a variação sazonal das afluições dos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitano e que foram utilizados neste trabalho. A **Figura 6.4** apresenta a vazão média anual afluente aos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitano no período de 1912 a 2012, média móvel de 10 anos e média da série histórica.

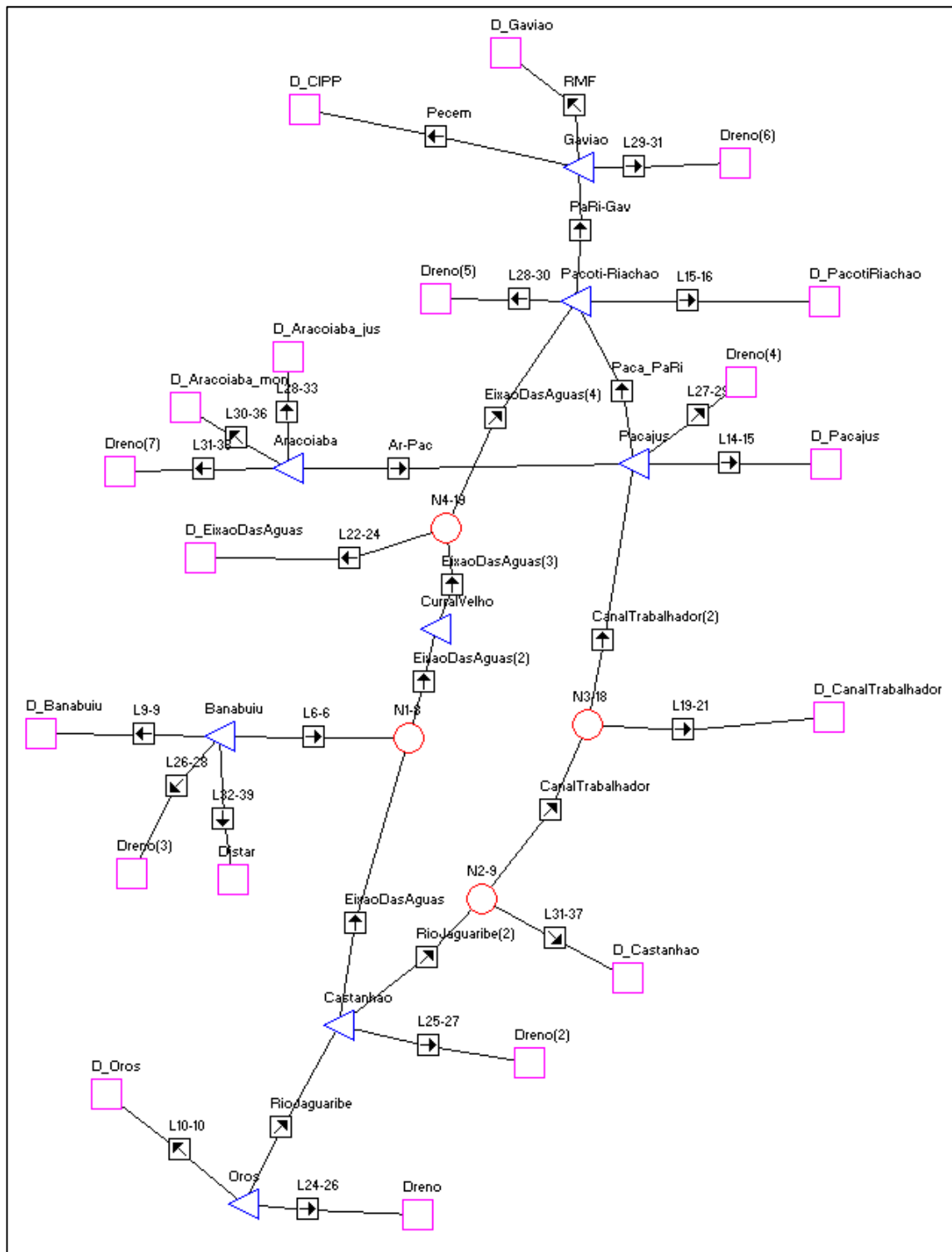
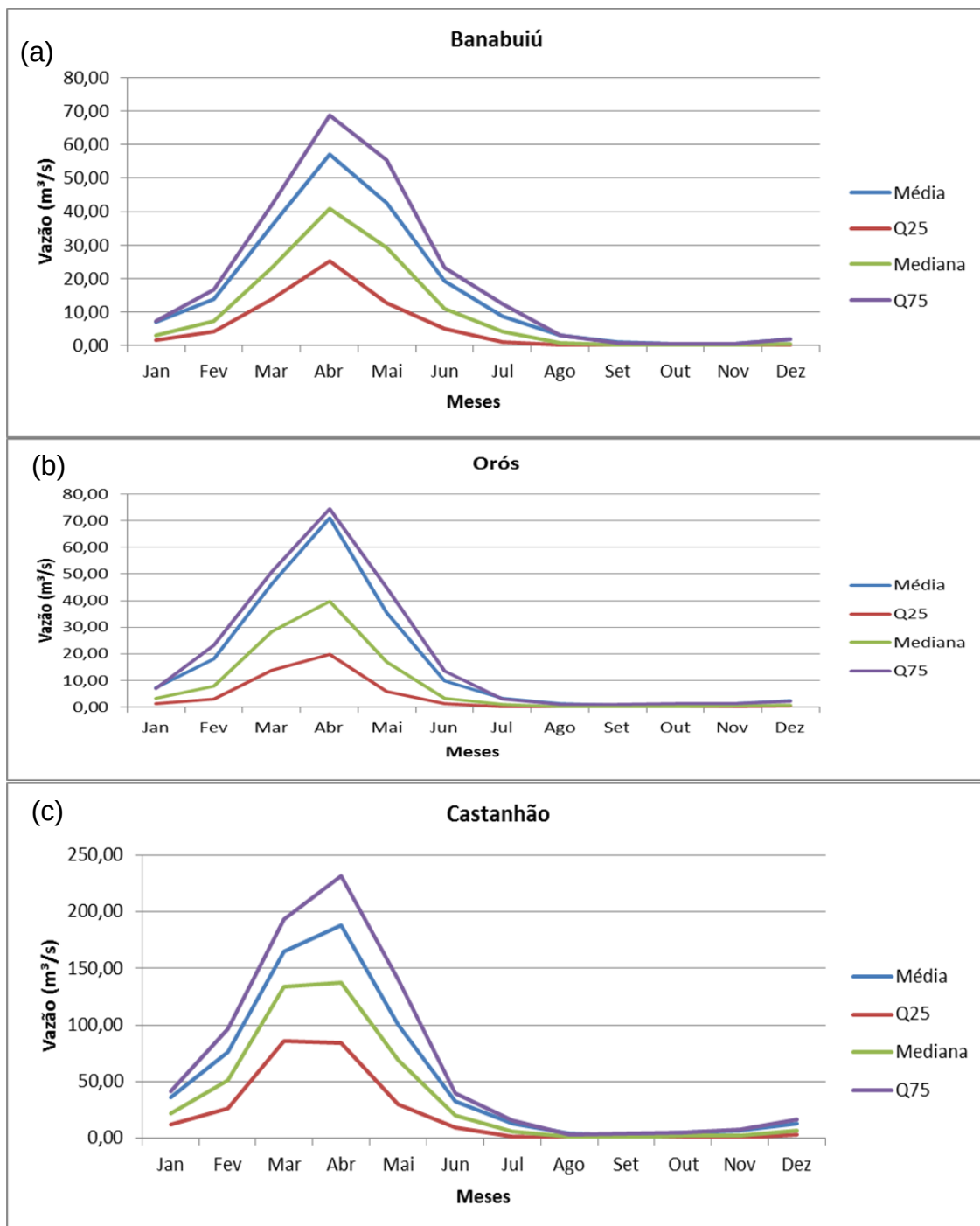
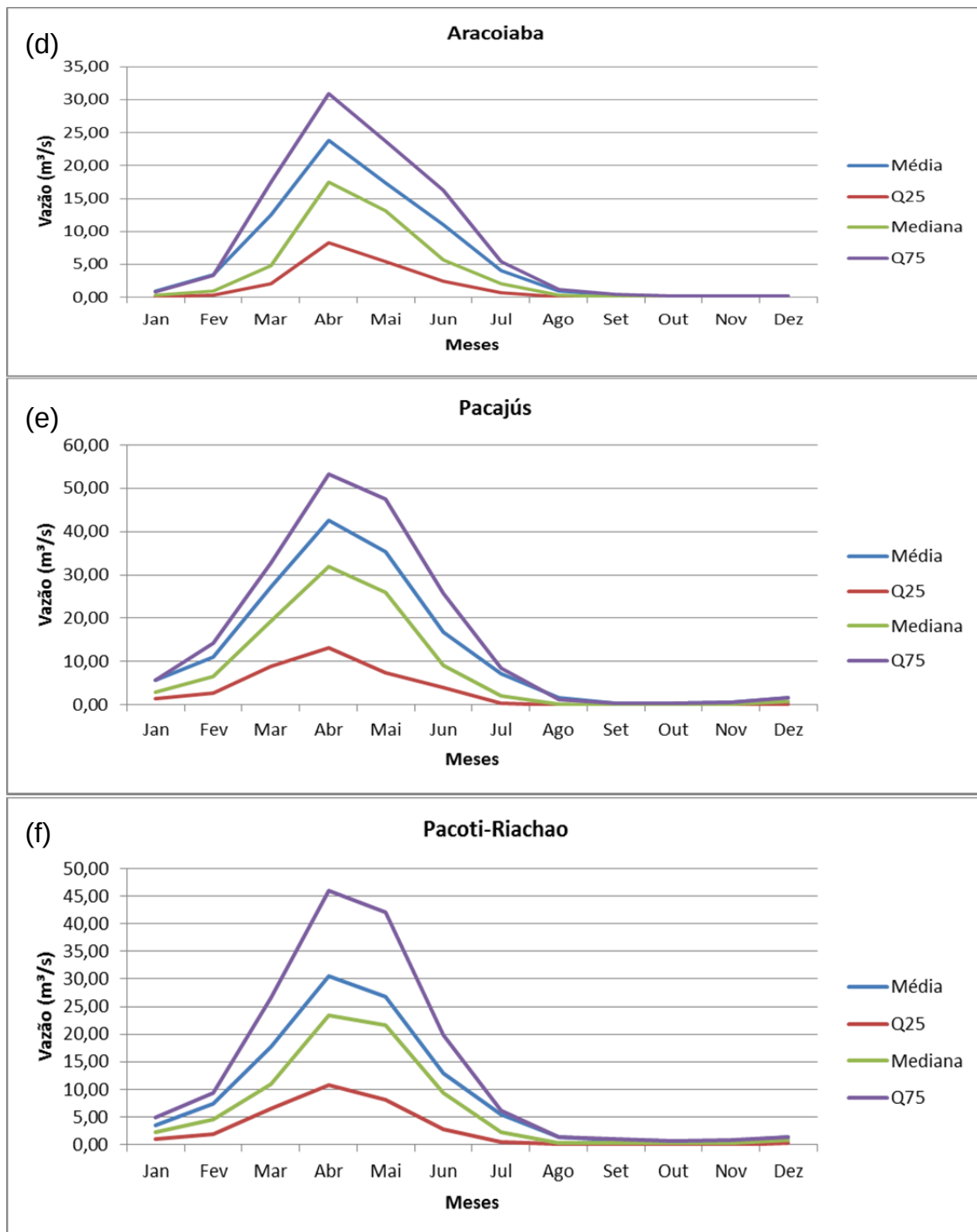


Figura 6.2 - Rede de fluxo da modelagem do sistema de abastecimento de água bruta da região Jaguaribe e Metropolitana de Fortaleza utilizando o software Acquanet.





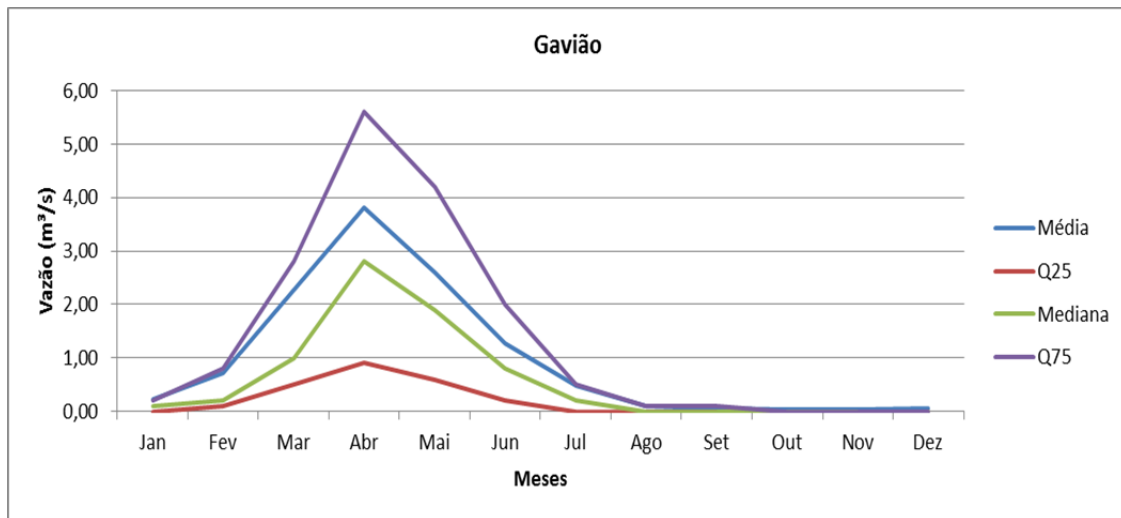
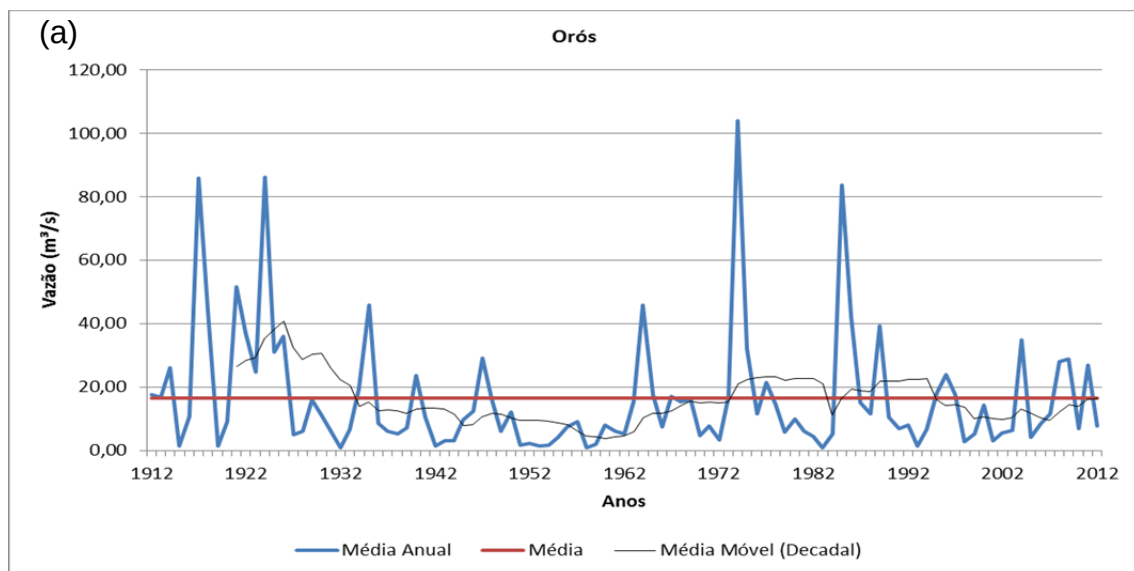
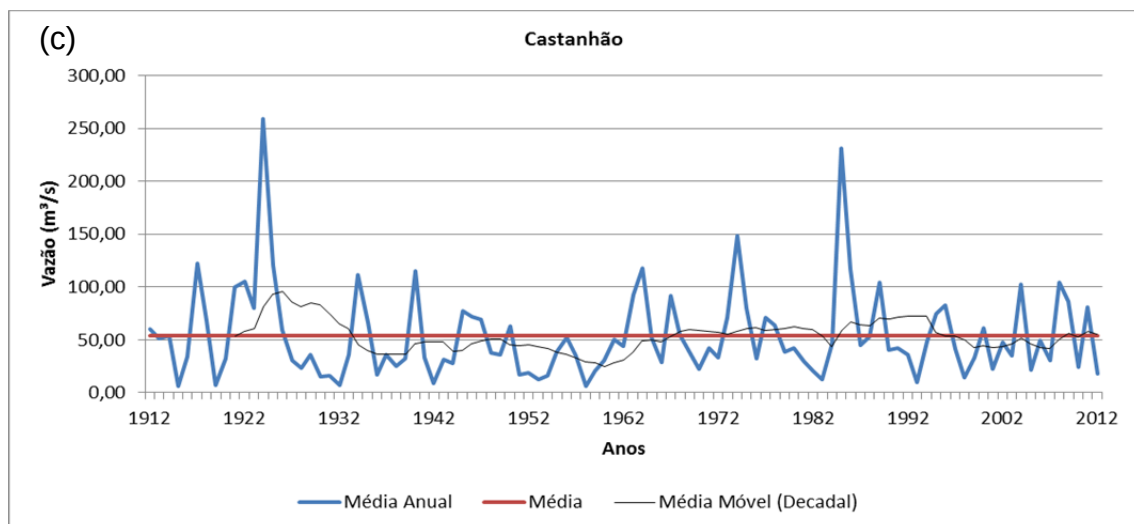
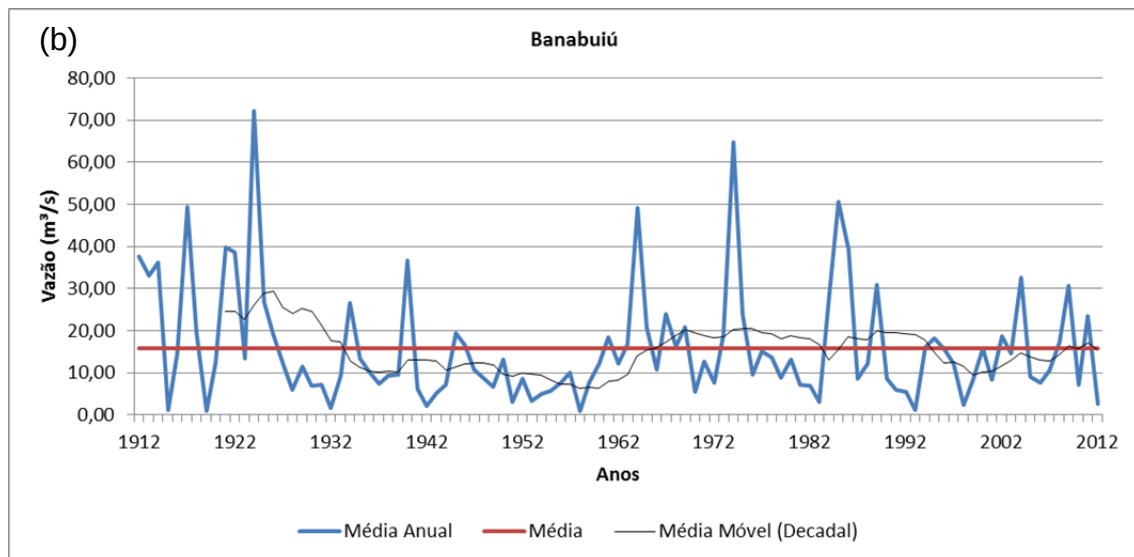
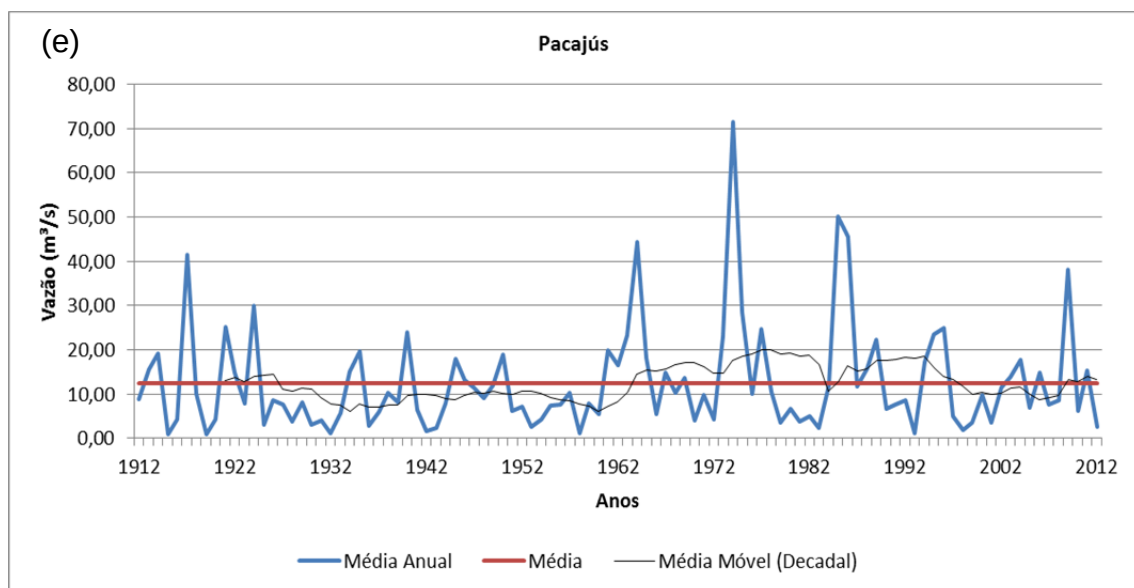
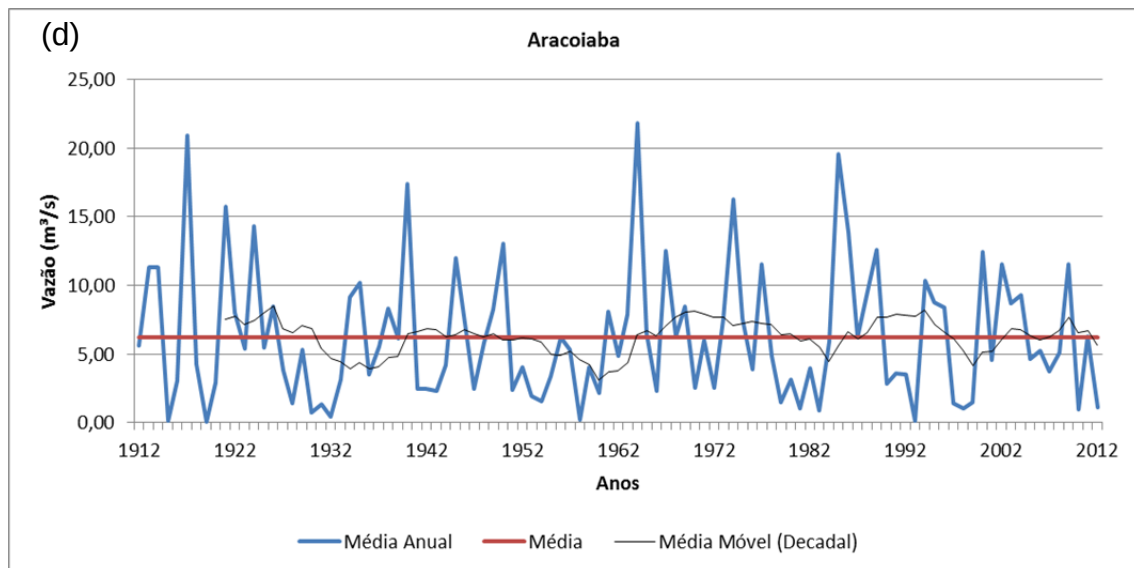


Figura 6.3 - Variação sazonal das aflúências dos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitano, representando a média mensal, a mediana e quartis 25% e 75%: (a) Orós; (b) Banabuiú; (c) Castanhão; (d) Aracoiaba; (e) Pacajús; (f) Pacoti-Riachão; (g) Gavião







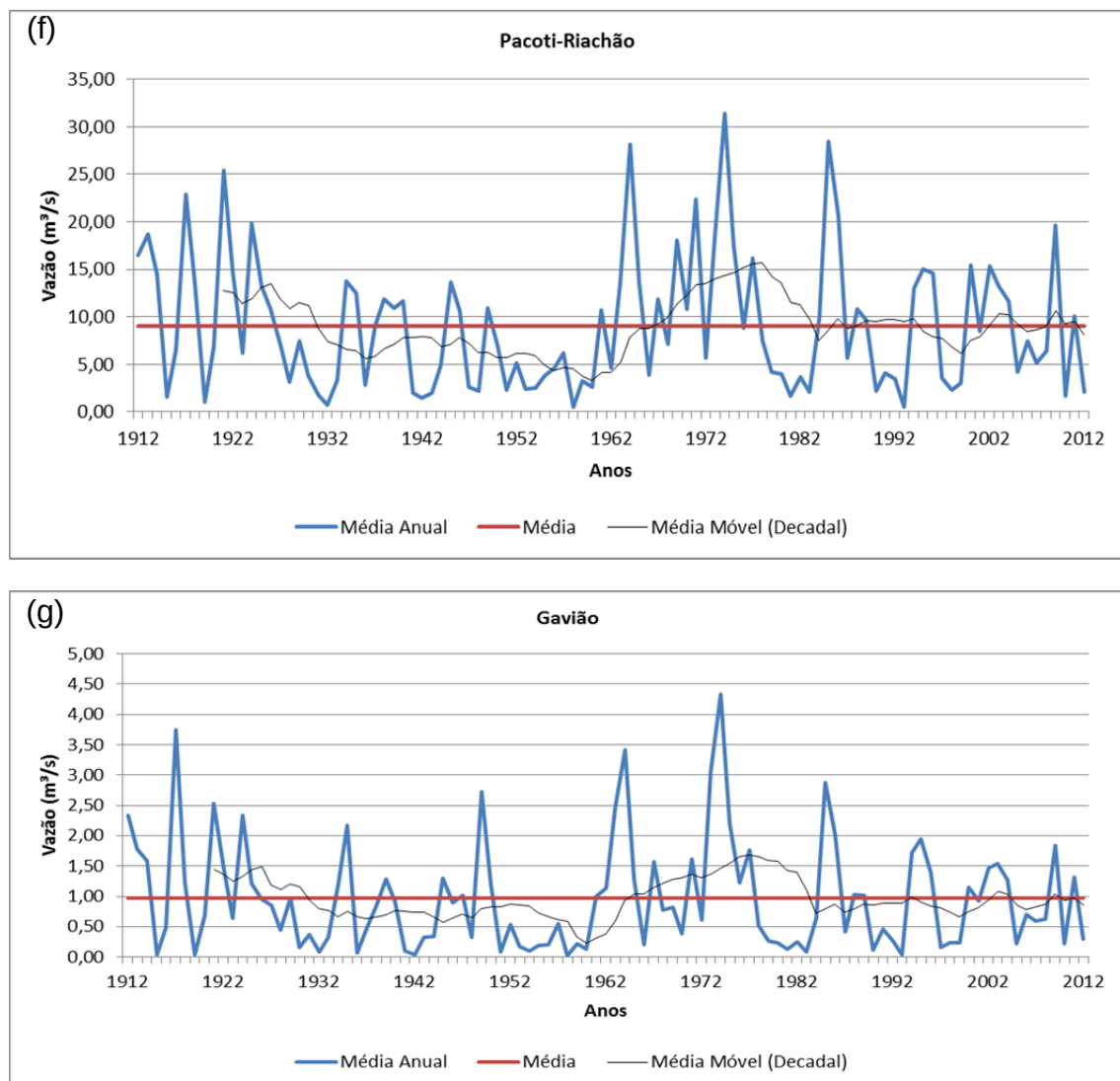


Figura 6.4 - Vazão média anual afluyente aos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitanono período de 1912 a 2012, média móvel de 10 anos e média da série histórica: (a)Orós; (b) Banabuiú; (c) Castanhão; (d) Aracoiaba; (e) Pacajús; (f) Pacoti-Riachão; (g) Gavião

Os dados de vazões afluentes foram utilizados para o cálculo das vazões regularizadas. Vazão regularizada é a vazão fornecida anualmente por um reservatório para o suprimento de uma demanda com determinada garantia. Se um reservatório, por exemplo, possui uma vazão regularizada Q85, significa que ele possui disponibilidade de retirada desta vazão em 85% dos anos. O conceito de vazão

regularizada pode ser estendido à disponibilidade mensal de um reservatório atender a certa demanda. Assim, a Q85 mensal seria a vazão associada a um reservatório, de tal forma que em 85% dos meses houve o atendimento da vazão especificada. A **Tabela 6.2** mostra as vazões regularizadas com garantia de 85%, 90% e firme (100%) para os mesmos reservatórios.

Tabela 6.2 - Vazões regularizadas (m³/s) com garantia de 85%, 90% e firme para os reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Reservatório	Garantia		
	85%	95%	Firme
Orós	10,8	9,3	4,3
Banabuiú	13,1	11,7	6,5
Aracoiaba	4,4	3,8	2,0
Pacajus	6,9	6,0	3,4
Pacoti	6,1	5,0	2,7
Gavião	0,5	0,4	0,1

6.2.2 - Taxa de evaporação e Curva Cota-Área-Volume

As curvas cota-área-volume foram obtidas junto à COGERH. Os dados de evaporação foram retirados das Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que utiliza o Evaporímetro de Piché para o cálculo destes valores. As séries dos reservatórios são aquelas disponíveis da estação mais próxima ao mesmo (**Tabela 6.3**).

Tabela 6.3 - Evaporação média para os reservatórios do sistema de abastecimento de Fortaleza.

Reservatórios	Estação de Medição	Média (mm)	Total Anual (mm)
Aracoiaba	82487	50,5	605,9
Banabuiú	82586	165,7	1989,0
Castanhão	82588	190,4	2283,0
Gavião	82397	119,6	1435,0
Orós	82686	158,5	1901,0
Pacajus	82397	119,6	1435,0
Pacoti-Riachão	82397	119,6	1435,0

Fonte: Dados do INMET (1992).

6.2.3 - Volumes máximos e mínimos

A capacidade de acumulação de cada reservatório é imposta como volume máximo (**Tabela 6.4**). O reservatório Castanhão possui a maior capacidade de acumulação dentre os reservatórios do estado do Ceará, com capacidade de aproximadamente 6.650 hm³. Deste, 2.200 hm³ são reservados para controle de cheias, restando 4.450 hm³ para os usos conservativos (urbanos, irrigação, industrial) e não conservativos (piscicultura).

Tabela 6.4 - Volumes característicos do sistema de abastecimento de Fortaleza.

Reservatório	Volume máximo (hm ³)	Volume mínimo (hm ³)
Aracoiaba	170,7	0,00
Banabuiú	1.601	0,00
Castanhão	4.451	250
Gavião	32,9	16
Orós	1.940	100
Pacajus	240	34
Pacoti - Riachão	420,00	112

Os volumes mínimos de cada um dos reservatórios também estão apresentados na **Tabela 6.4**. Estes volumes constituem reservas estratégicas do estoque de água, também denominados de volume morto, recebendo esta denominação por estarem estocados abaixo da cota de tomada d'água do reservatório.

6.3 - DEMANDA HÍDRICA

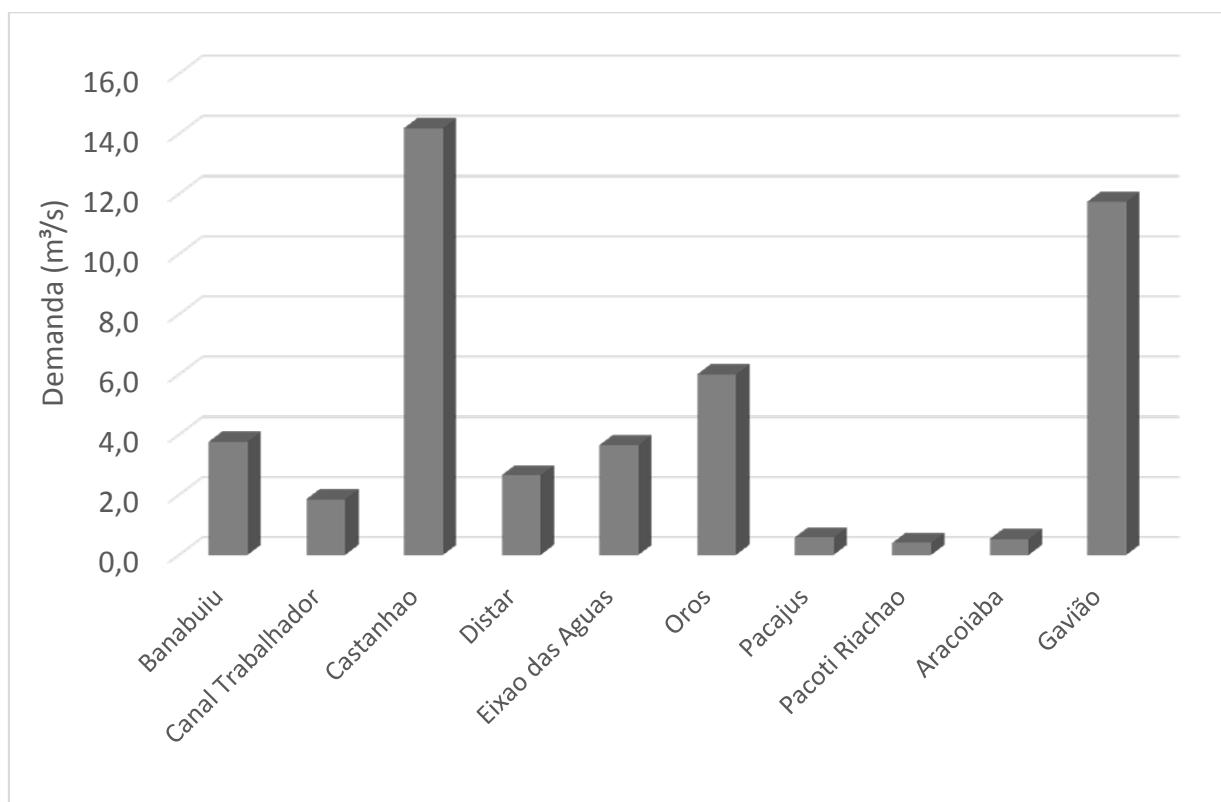
Os valores de demanda hídrica foram coletados junto a COGERH considerando as estimativas realizadas para um período sem escassez hídrica. Para efeito de análise, as demandas foram agrupadas conforme a estrutura física que lhe fornece água (**Figura 6.5**).

O sistema Jaguaribe-Metropolitano possui uma demanda total de 45,30 m³/s. Desse total, 71% estão concentradas na bacia do Jaguaribe e 29% na Região Metropolitana de Fortaleza.

Os usuários de água do Jaguaribe podem ser categorizados como: abastecimento humano, irrigação temporária e permanente, carcinicultura, indústria, dessedentação animal, consumo difuso e ambiental (perenização de rios). Nessa bacia, localizam-se 15 perímetros de irrigação, dentre os quais destacam-se o perímetro do Jaguaribe – Apodi (DIJA) e o perímetro de Morada Nova. Dentre as principais culturas irrigadas, destacam-se o arroz inundado, fruticultura em geral, feijão, milho, banana e hortaliças.

O uso da água na RMF é para o abastecimento urbano, isto é, abastecimento humano, industrial, serviços e turismo. O setor industrial encontra-se distribuído ao sul, entre os municípios de Horizonte e Pacajus e na porção oeste onde se situa o Complexo Industrial Porto do Pecém (CIPP), destacando-se neste pelo volume demandado: Energia Pecém, Termo Ceará, Endesa e a Companhia Siderúrgica do Pecém. Há, também, um aglomerado industrial localizado no município de Maracanaú e um corredor industrial de formação antiga situado a oeste do município de Fortaleza que se estabelece dentro da demanda hídrica humana desse município.

No açude Gavião está situada a retirada de água para o atendimento de Fortaleza com $10,3\text{m}^3/\text{s}$ e do Complexo Industrial do Porto do Pecém com $1,4\text{m}^3/\text{s}$. Para Fortaleza foi considerado o volume demandado pelas Estações de Tratamento de Água (ETA Gavião e ETA Oeste).



Fonte: Informações concedidas pela Gerência de Operação da COGERH em janeiro de 2015.

Figura 6.5 - Demandas hídricas do sistema Jaguaribe-Metropolitano.

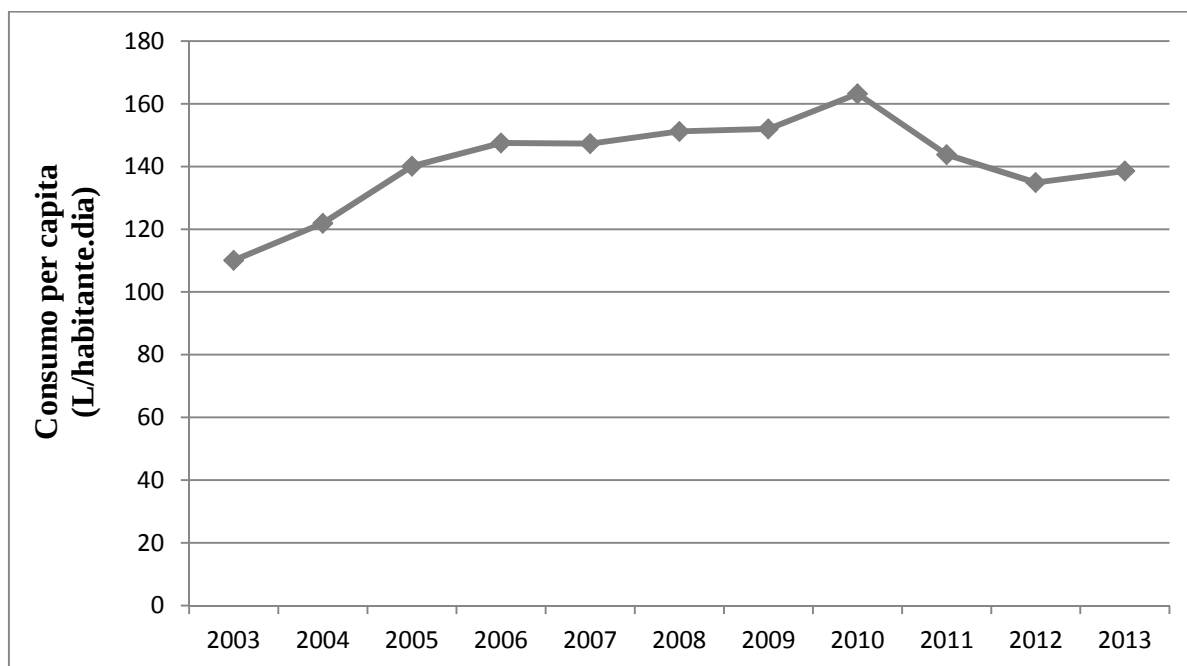
As ETA's fazem parte do Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza. A implantação ou ampliação desse tipo de sistema apresenta, como premissa básica, a determinação da vazão de demanda. Essa, por sua vez, requer, dentre outros parâmetros, a avaliação do consumo *per capita* efetivo de água, que em linhas gerais representa o volume de água diário, requerido por indivíduo, usualmente expresso em L/hab.dia. (ABNT, 1992).

No âmbito deste estudo, o consumo *per capita* foi avaliado por meio dos dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS. Esse sistema apoia-se em uma base de dados coletados em pesquisa realizada junto às prefeituras municipais e às prestadoras de serviços de água e saneamento. Esta base contém informações de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, esgotos e manejo de resíduos sólidos urbanos. No caso dos serviços de água

e esgoto, os dados são atualizados anualmente para uma amostra de prestadores de serviços do Brasil, desde o ano-base de 1995.

O SNIS denomina o consumo médio *per capita* como sendo o volume de água consumido, excluído o volume de água exportado, dividido pela população atendida com abastecimento de água, ou seja, é a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial (SNIS, 2012). Tsutiya (2006) menciona que esse indicador incorpora as perdas de água do sistema de abastecimento. Essas perdas se referem ao índice de perdas na distribuição, estão relacionadas aos volumes de água disponibilizados para distribuição e os volumes de água efetivamente consumidos e registrados pelos micromedidores, instalados nas economias (SNIS, 2012).

O consumo médio per capita de Fortaleza no período de 2003 a 2013 tem uma média de 140,96 L.hab/dia. O menor valor foi registrado em 2003 (110,10 L.hab/dia) e o maior em 2010 (163,20 L.hab/dia) apresentando uma redução a partir desse ano (**Figura 6.6**).



Fonte: Elaborado com dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (2015).

Figura 6.6 - Consumo per capita de Fortaleza para o período de 2003 a 2013 (L/habitante.dia).

Nos sistemas de abastecimento de água, a quantidade de água consumida pode variar conforme alguns determinantes que são eles: a temperatura, a precipitação, a renda familiar e o tamanho da família.

O consumo, por exemplo, aumenta conforme aumenta a temperatura. A umidade também exerce influência, dado que em regiões mais secas o consumo é maior. Na ocorrência de precipitação tem-se a redução do consumo de água (ver GUHATHAKURTA & GOBER, 2007; PRASKIEVICZ & CHANG, 2009; ZHOU *et al.*, 2001). O tamanho da família aumenta o consumo, uma vez que mais pessoas gastam mais água e uma casa maior necessita de mais água para serviços de limpeza.

Famílias com níveis de renda mais elevados podem utilizar mais água que pessoas de baixa renda, pois possuem mais bens de consumo que necessitam de um consumo maior de água, como carro, máquinas de lavar roupas, etc. (ANDRE, 2012). A demanda de água dos grupos de baixa renda geralmente é menos elástica do que a demanda de grupos de clientes de alta renda, pois os clientes de baixa renda geralmente usam menos água para usos não-discricionários (BEECHER *et al.*, 1994).

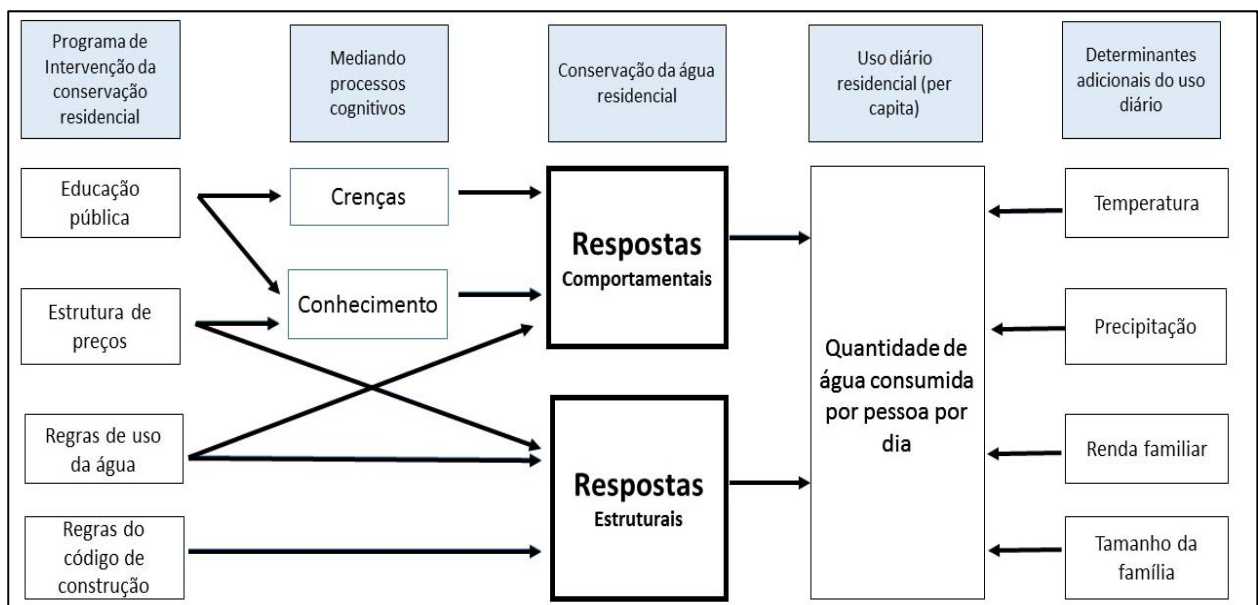
O consumo da água por diferentes usuários também pode ser desestabilizado devido a um evento de seca. Este evento afeta o consumo através de dois fatores: redução da qualidade de água e da escassez da água para a distribuição. Os principais problemas ocasionados devido a ocorrência desses fatores são a qualidade da água inferior, a falha no serviço e a falha no abastecimento das residências, dos prédios públicos e das indústrias.

Considerando as tendências futuras de redução da população devido à redução da taxa de fecundidade e do aumento da expectativa de vida (IPLANFOR/FCPC, 2015b), mantido o consumo *per capita*, o consumo de água também decresce.

Caso essa tendência não seja mantida, é possível, segundo Bruvold (1998), reduzir o consumo de água da população pela intervenção de quatro variáveis: Educação pública, Estrutura de preços, Regras de uso da água e Regras do código de construção (**Figura 6.7**). Cada uma delas está descrita na sequência do texto:

A educação forma o ser humano e a sociedade, por isso, através dela, é possível construir uma consciência ecológica crítica buscando o uso sustentável da água. Um programa de educação pública pode ser realizado em escolas, exposições em áreas comerciais, jornais, revistas ou através de propagandas. Ele deve enfatizar os benefícios da conservação da água tanto do ponto de vista financeiro quanto ambiental.

A educação pública é uma ação de longo prazo que pode ocasionar mudanças comportamentais na sociedade promovendo a ética do uso racional de água e tornando as pessoas mais receptivas à redução do consumo.



Fonte: Adaptado de Bruvold (1988).

Figura 6.7 - Determinantes do consumo da água.

A companhia de abastecimento deve elaborar um sistema de preços que desencoraje o uso excessivo da água. Quando se utiliza o sistema de preços na conservação da água, o parâmetro de maior interesse é a elasticidade-preço da demanda. Este parâmetro mede a variação percentual da demanda em resposta a uma variação no preço da água, com isso, verifica-se em quanto o consumidor estaria disposto a reduzir o seu consumo de água caso ela sofresse um aumento no preço.

A elasticidade-preço da demanda muda conforme o lugar e o tempo, mas, em relação ao consumo de água residencial urbano, preços mais altos reduzem o consumo dos habitantes.

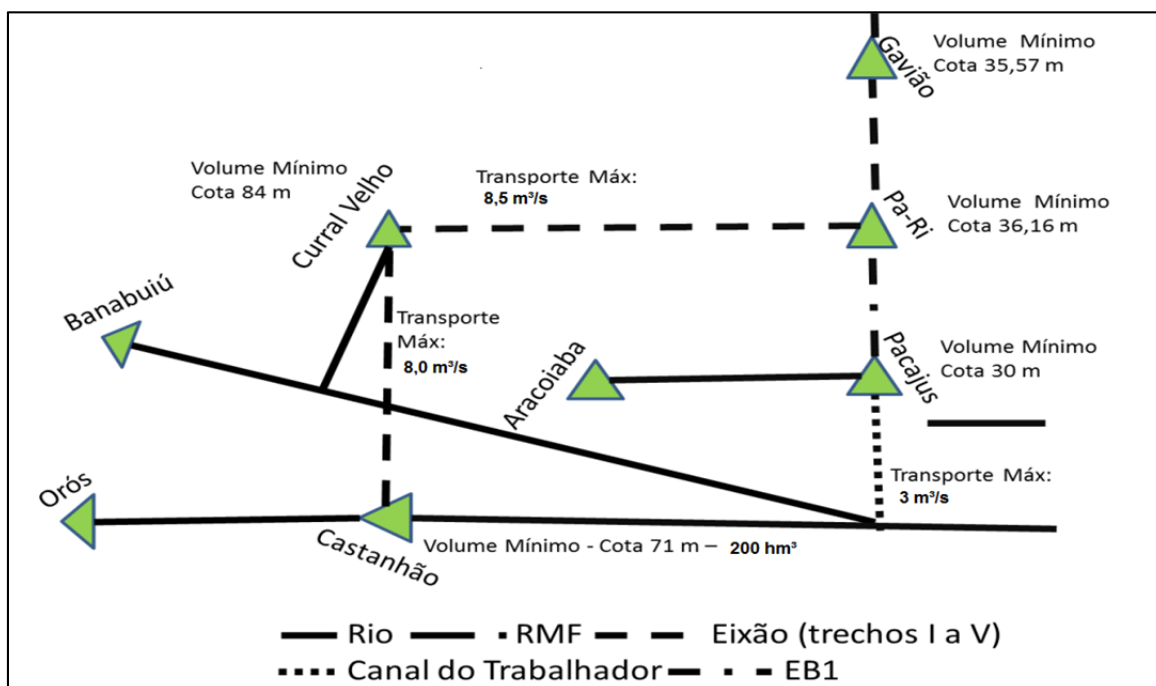
As regras de uso da água e as regras de código de conduta devem ser definidas pelo poder público para estabelecer quem pode utilizar a água e como essa água deve ser utilizada em período de escassez. Essas regras podem adicionar flexibilidade no sistema de gestão de recursos hídricos de forma a garantir maior robustez (estabilidade/capacidade de resposta).

A redução do consumo de água deve ser buscada também por outros setores da sociedade, especialmente, os setores produtivos. Nesse sentido, pode-se pensar na aplicação de métodos como o reuso de água e dessalinização da água do mar.

6.4 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Nesta seção serão apresentados os principais resultados da simulação do sistema Jaguaribe-Metropolitano, demonstrando o comportamento dos reservatórios e o atendimento às demandas atuais, utilizando a série histórica de vazões para o processo de alocação dos recursos hídricos existentes. Este modelo de simulação visa observar os níveis críticos dos reservatórios, bem como as falhas e os riscos deste sistema.

A operação real do sistema de abastecimento de Fortaleza está sujeita a restrições físicas de capacidade do transporte de água nos canais e operacionais de volume mínimas necessárias para o bombeamento das águas. Deste modo, o sistema Jaguaribe-Metropolitano foi modelado procurando-se atender às limitações operacionais existentes neste sistema, adotando-se as restrições expostas na **Figura 6.8**. Cabe destacar a limitação do transporte de água bruta pelo Eixão das Águas, com capacidade máxima atual de 8,5 m³/s e do canal do Trabalhador com 3 m³/s.



*EB – estação de bombeamento, Máx – máximo, Pa-Ri – Pacoti/Riachão.

Figura 6.8 - Restrições físicas e operacionais do sistema de abastecimento de Fortaleza.

Estas limitações indicam as vulnerabilidades existentes em todo o sistema de abastecimento, impondo a região metropolitana de Fortaleza riscos de desabastecimento. Diante disso, optou-se por realizar duas simulações para este sistema: a primeira modelada com as limitações operacionais existentes no sistema atual; a segunda modelada aumentando-se a capacidade máxima de transporte de água pelo Eixão das Águas para 20 m³/s.

6.4.1 - Simulação 1

A simulação 1 foi realizada incorporando as características atuais do sistema. O comportamento da operação do reservatório Castanhão. Observa-se que em 100 meses (8,2% do tempo), o reservatório Castanhão tem seu estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. O reservatório atinge o volume mínimo operacional (220 hm³) durante 18 meses da simulação, indicando a necessidade de se utilizar o volume morto do reservatório neste período de tempo. Com os estoques neste volume, seria necessário um plano de ação para a utilização do volume ainda estocado,

obrigando a imposição de restrição severa para a utilização deste manancial. As simulações indicam, ainda, o esvaziamento completo do Castanhão em três meses do período simulado.

O reservatório Castanhão está ligado, através do rio Jaguaribe, ao reservatório Orós. Esse último, além de atender às demandas locais, funciona como reservatório estratégico utilizado quando os níveis do primeiro estão em cotas baixas. Na **Figura 6.9** pode-se observar o comportamento do reservatório Orós para o período de tempo simulado.

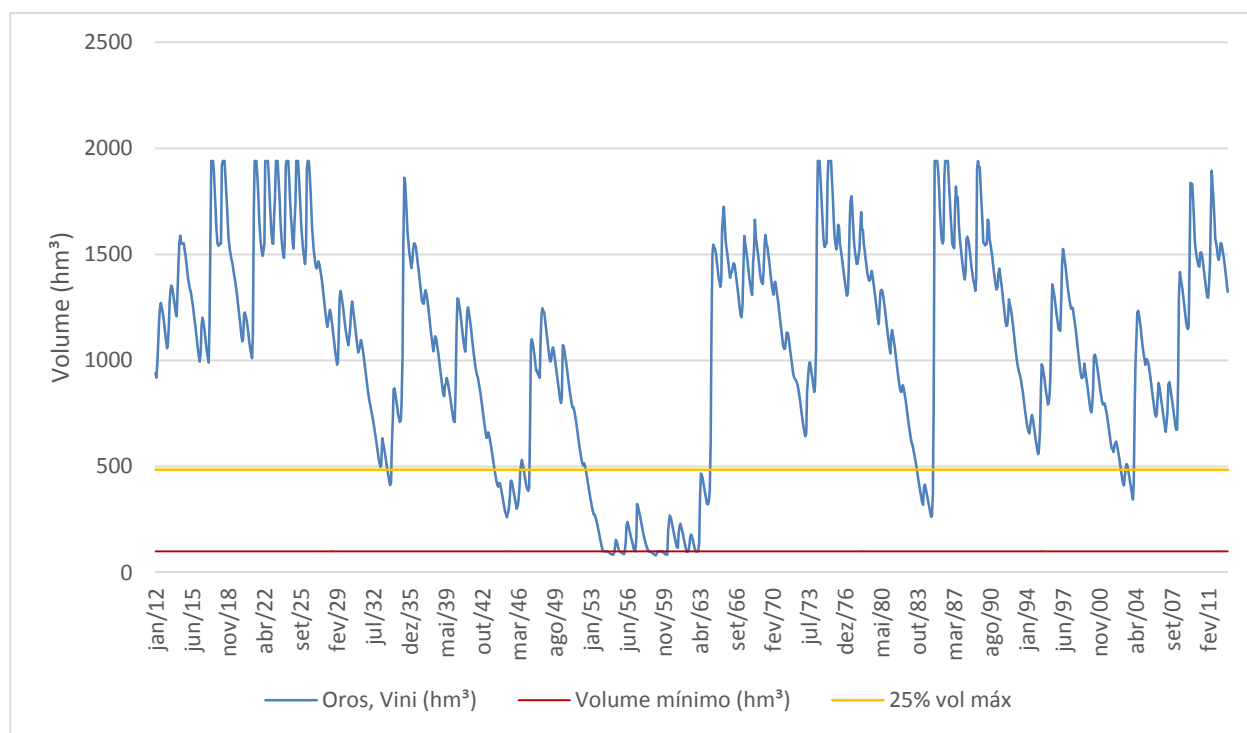


Figura 6.9 - Simulação da operação do reservatório Orós, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais.

O reservatório apresenta em, aproximadamente, 18% do tempo da simulação (214 meses) estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. Seu volume mínimo operacional de 100 hm³ é atingindo em 50 meses do período (4,13 % do tempo), indicando falhas no atendimento das demandas locais. O reservatório apresentou um período máximo de 22 meses consecutivos com falhas. O déficit total

de água resultou em 655 hm³, aproximadamente, e a vazão média fornecida foi 5,8 m³/s. A **Tabela 6.5** mostra um resumo desses déficits de abastecimento.

Tabela 6.5 - Déficit de suprimento das demandas do reservatório Orós para o período de tempo simulado (1912-2012) e demandas atuais.

Demanda	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (hm ³)	Vazão média fornecida (m ³ /s)
Oros	22	4,13	655,8	5,79

As transferências de águas ocorridas entre os reservatórios Orós e Castanhão são apresentadas na **Figura 6.10**. A figura indica que a transferência máxima ocorrida foi de 16,5 m³/s em aproximadamente 10% do tempo. Observa-se, ainda, que em, aproximadamente, 85% do tempo não existem transferências entre os dois reservatórios.

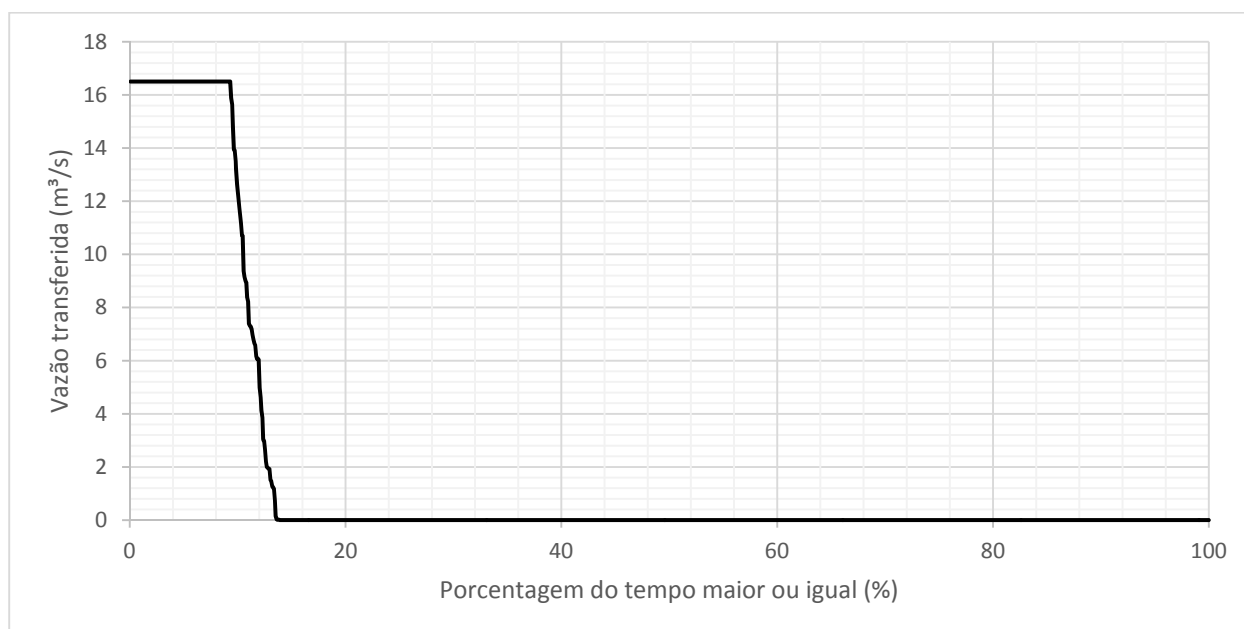


Figura 6.10 - Curva de permanência das transferências entre os reservatórios Orós e Castanhão

As transferências de água ocorrida entre o sistema Jaguaribe-Metropolitano acontecem através do Eixão das Águas e do Canal do Trabalhador. Na **Figura 6.11** pode-se ver as transferências ocorridas através destes dois canais. O Eixão das Águas apresenta transferência média de 7,5 m³/s, sendo a vazão máxima de 8,5m³/s transferida em 4% do tempo. O Canal do Trabalhador tem, em média, 1,9 m³/s de transferência mensal, apresentando em 3,5% do tempo vazão mensal de 3 m³/s (vazão máxima).

O Eixão das águas liga o Castanhão ao reservatório Pacoti-Riachão, na região metropolitana de Fortaleza. Neste reservatório, em média, ocorreu a chegada, via Eixão das Águas, de 4,14 m³/s. Na **Figura 6.12** observa-se o comportamento do reservatório Pacoti-Riachão. O reservatório apresentou em 196 meses da simulação volume inferior ao seu mínimo operacional, indicando a necessidade de utilização do seu volume morto para o suprimento das demandas. Percebeu-se, ainda, que o reservatório falha em 16% do tempo da simulação, conforme pode ser visto na **Figura 6.13**.

O reservatório Pacajús recebe água da Região do Jaguaribe através do Canal do Trabalhador. Na **Figura 6.14** pode-se ver o comportamento deste reservatório para o período simulado. Este reservatório apresentou apenas 15 meses (1,2% do tempo) volume abaixo de 25% da capacidade máxima do reservatório. Em cinco meses da simulação apresentou volume igual ou inferior ao seu volume mínimo operacional.

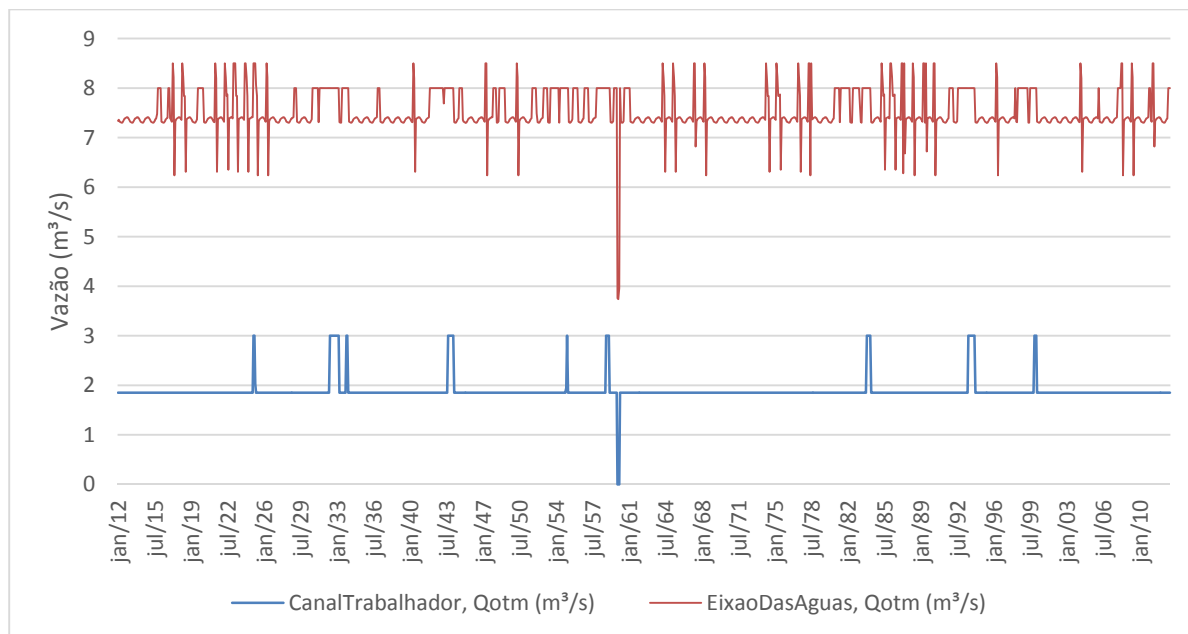


Figura 6.11 - Transferência hídrica mensal ocorrida entre os sistemas Jaguaribe e Metropolitano através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador.

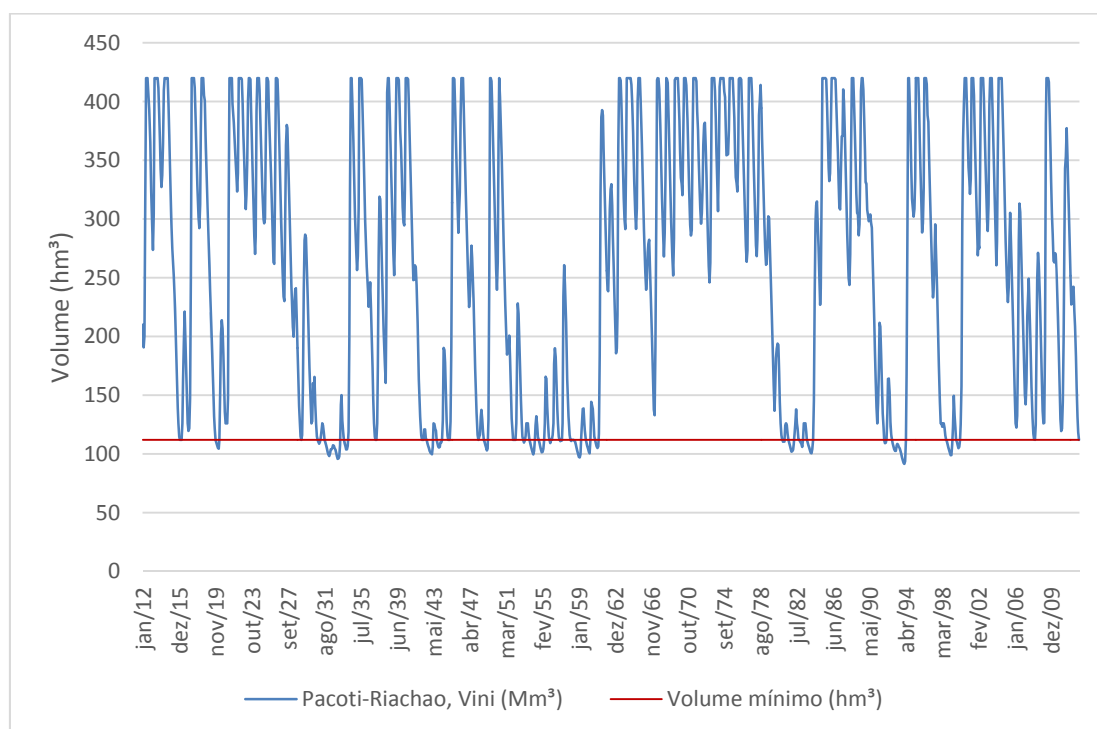


Figura 6.12 – Volume estocado no Reservatório Pacoti-Riachão, para a simulação do sistema entre os anos 1912-2012 e demandas atuais.

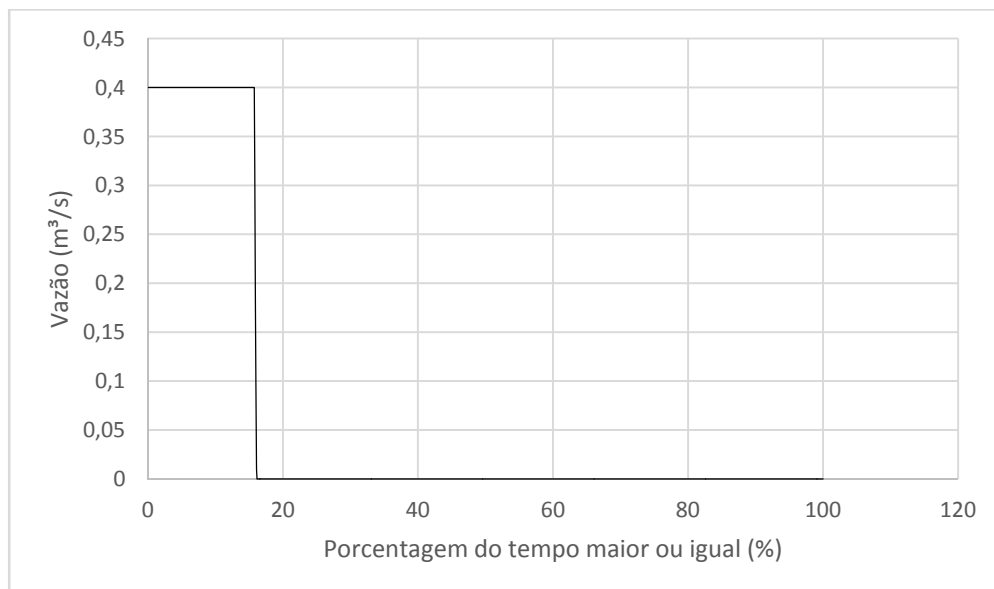


Figura 6.13 - Curva de permanência dos déficits de suprimento das demandas do reservatório Pacoti-Riachão.

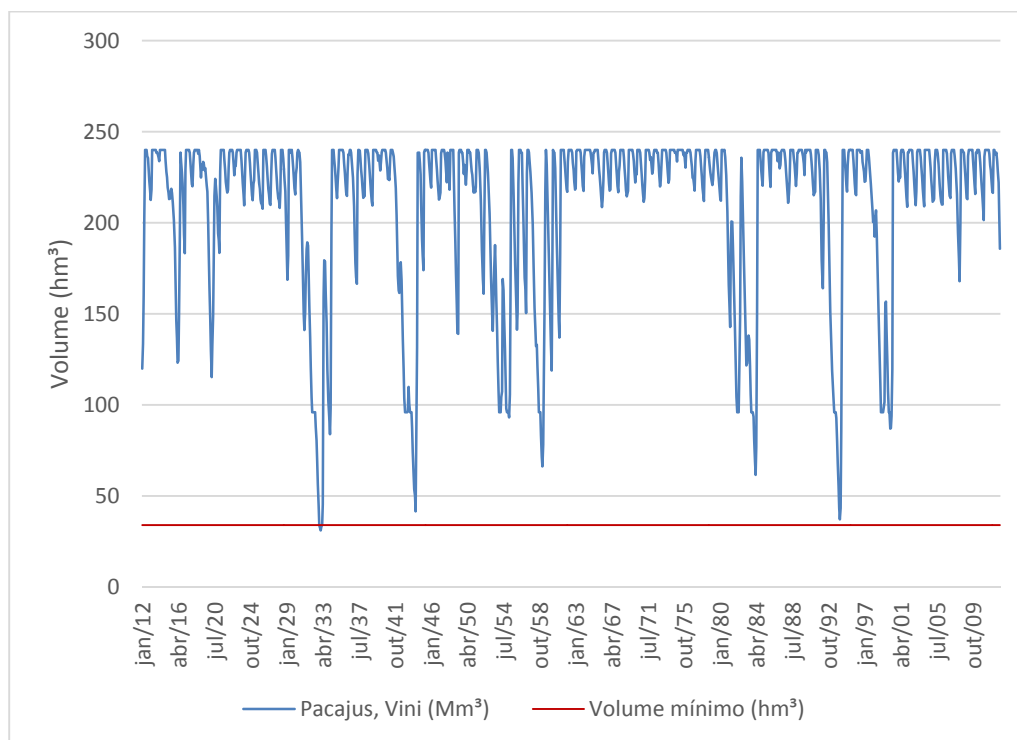


Figura 6.14– Volume estocado no Reservatório Pacajús, para a simulação do sistema entre os anos 1912-2012 e demandas atuais.

O reservatório Gavião, por fim, recebe água através da ligação com o reservatório Pacoti-Riachão. A **Figura 6.15** apresenta a acumulação do reservatório Gavião.

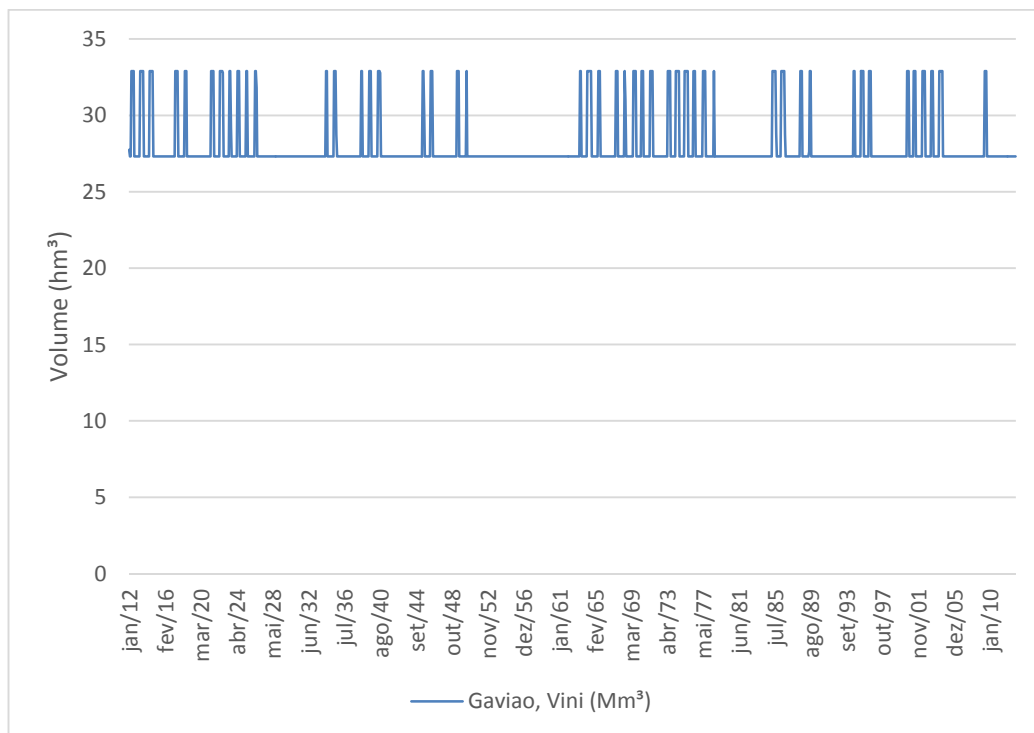


Figura 6.15 - Volume estocado no Reservatório Gavião, para a simulação do sistema entre os anos 1912-2012 e demandas atuais.

O reservatório apresentou volume mínimo 27,3 hm³ em, aproximadamente, 85% do tempo. Este volume mínimo, como citado anteriormente, é necessário devido a restrições operacionais deste reservatório. A **Figura 6.16** apresenta a curva de permanência dos déficits de atendimento das demandas do reservatório Gavião.

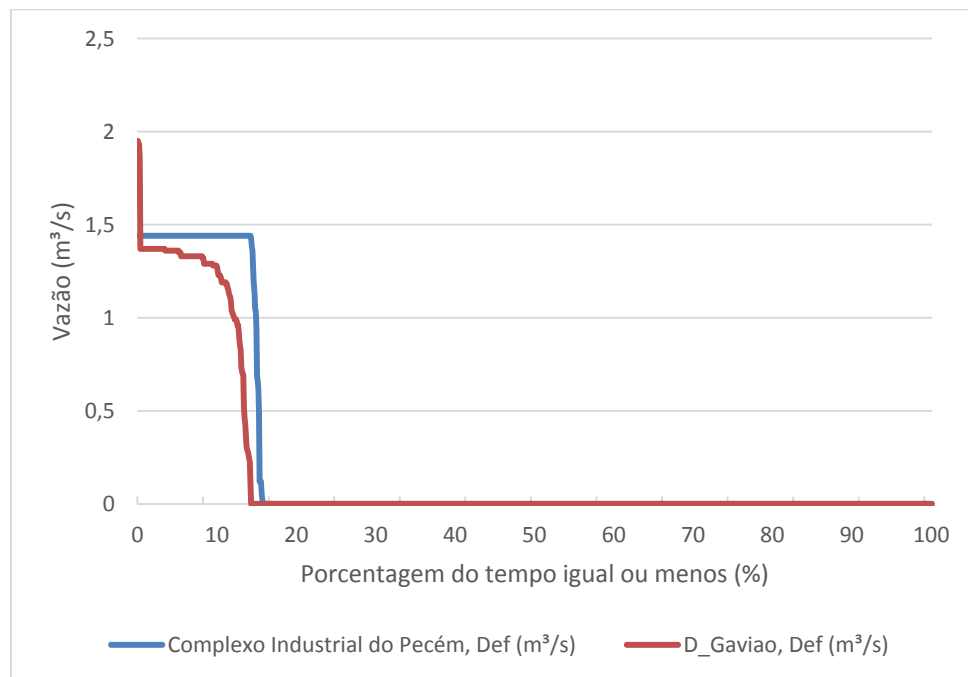


Figura 6.16 - Curva de permanência dos déficits de suprimento das demandas do reservatório Gavião.

Observa-se algum tipo de falha em, aproximadamente, 15% do tempo do período simulado. Em média, o tempo consecutivo de meses em que houve alguma restrição de demanda foram 20 meses. O complexo Industrial do Pecém apresentou déficit acumulado de 690,5 hm³ e os demais usos do reservatório Gavião, incluindo a cidade de Fortaleza, 555,8 hm³, conforme resume o **Quadro 6.1**.

Quadro 6.1 - Déficit de suprimento das demandas do reservatório Gavião para o período de tempo simulado (1912-2012) e demandas atuais.

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm ³)	Vazão média fornecida (m ³ /s)
Complexo Industrial do Pecém, Def (m ³ /s)	21	15,76	690,533	1,223
Demais usos Gavião	20	14,19	555,769	10,125

6.4.2 - Simulação 2

A simulação 2 foi realizada aumentando a capacidade máxima de transporte do Eixão das Águas para 20 m³/s. O reservatório Castanhão apresentou, conforme pode ser visto na **Figura 6.17**, 151 meses (12,5% do tempo) com estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. O reservatório atinge o volume mínimo operacional (220 hm³) durante 39 meses da simulação (3,2% do tempo), indicando a necessidade de se utilizar o volume morto do reservatório neste período de tempo.

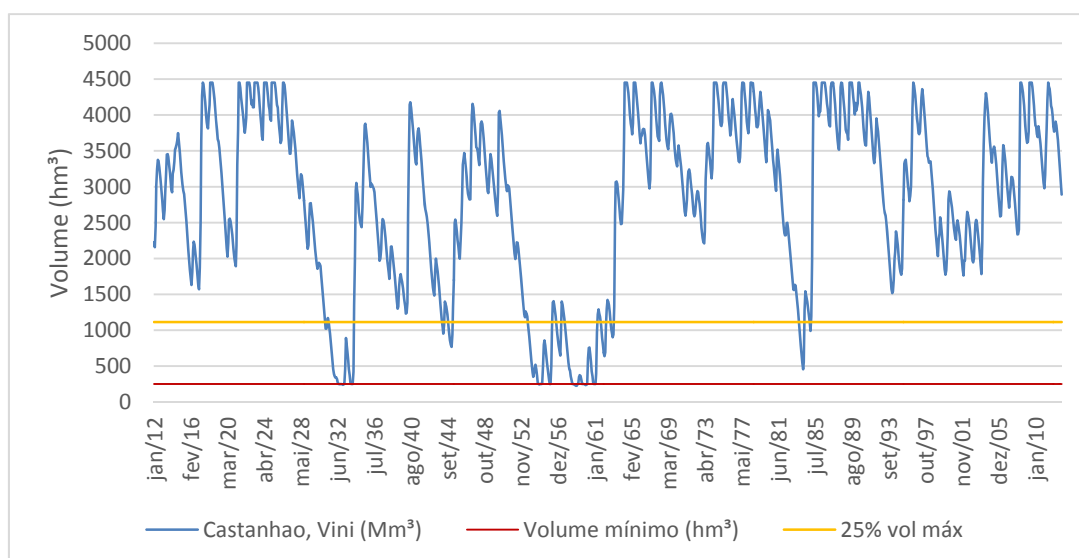


Figura 6.17- Simulação da operação do reservatório Castanhão, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais e capacidade máxima de transferência do Eixão das águas de 20 m³/s.

O reservatório Orós apresentou comportamento indicado na **Figura 6.18**. Este apresenta em, aproximadamente, 17% do tempo da simulação (206 meses) estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. Seu volume mínimo operacional de 100 hm³ é atingindo em 62 meses do período (5,12% do tempo), indicando falhas no atendimento das demandas locais. O reservatório apresentou um período máximo de 22 meses consecutivos com falhas. O déficit total de água resultou em 812 hm³,

aproximadamente, e a vazão média fornecida foi 5,7 m³/s. O **Quadro 6.2** mostra um resumo desses déficits de abastecimento.

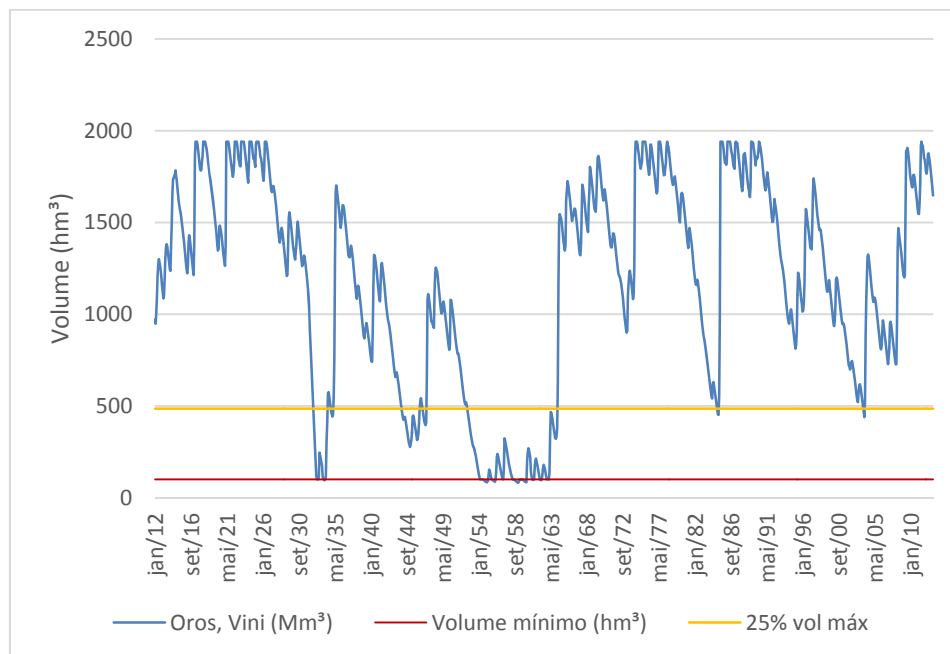


Figura 6.18 - Simulação da operação do reservatório Orós, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais e capacidade máxima de transferência do Eixão das águas de 20 m³/s.

Quadro 6.2 - Déficit de suprimento das demandas do reservatório Orós para o período de tempo simulado (1912-2012) e demandas atuais.

Demanda	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (hm ³)	Vazão média fornecida (m ³ /s)
Orós	22	5,12	811,82	5,75

As transferências de água ocorridas entre os reservatórios Orós e Castanhão são apresentadas na **Figura 6.19**. A transferência máxima ocorrida foi de 16,5 m³/s em, aproximadamente, 5% do tempo. Em, aproximadamente, 91% do tempo não existem transferências entre os dois reservatórios.

Na **Figura 6.20** pode-se ver a curva de permanência das transferências ocorridas através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador. O eixão das águas

apresenta transferência média de 8,9 m³/s, sendo a vazão máxima de 20 m³/s transferida em 3% do tempo. O Canal do Trabalhador tem, em média, 1,9 m³/s de transferência mensal, apresentando, em 10% do tempo, vazão mensal de 3 m³/s (vazão máxima).

No reservatório Pacoti-Riachão, na região metropolitana de Fortaleza, em média, ocorreu a chegada de 5,15 m³/s via Eixão das Águas. Na **Figura 6.21** observa-se o comportamento do reservatório Pacoti-Riachão. O reservatório apresentou em apenas três meses da simulação volume inferior ao seu mínimo operacional, indicando a necessidade de utilização do seu volume morto para o suprimento das demandas.

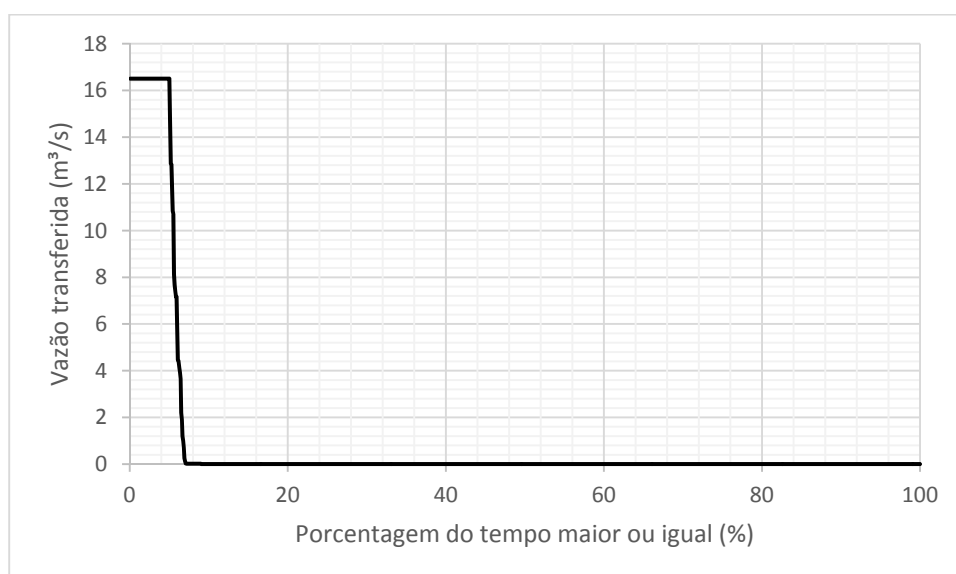


Figura 6.19- Curva de permanência das transferências entre os reservatórios Orós e Castanhão.

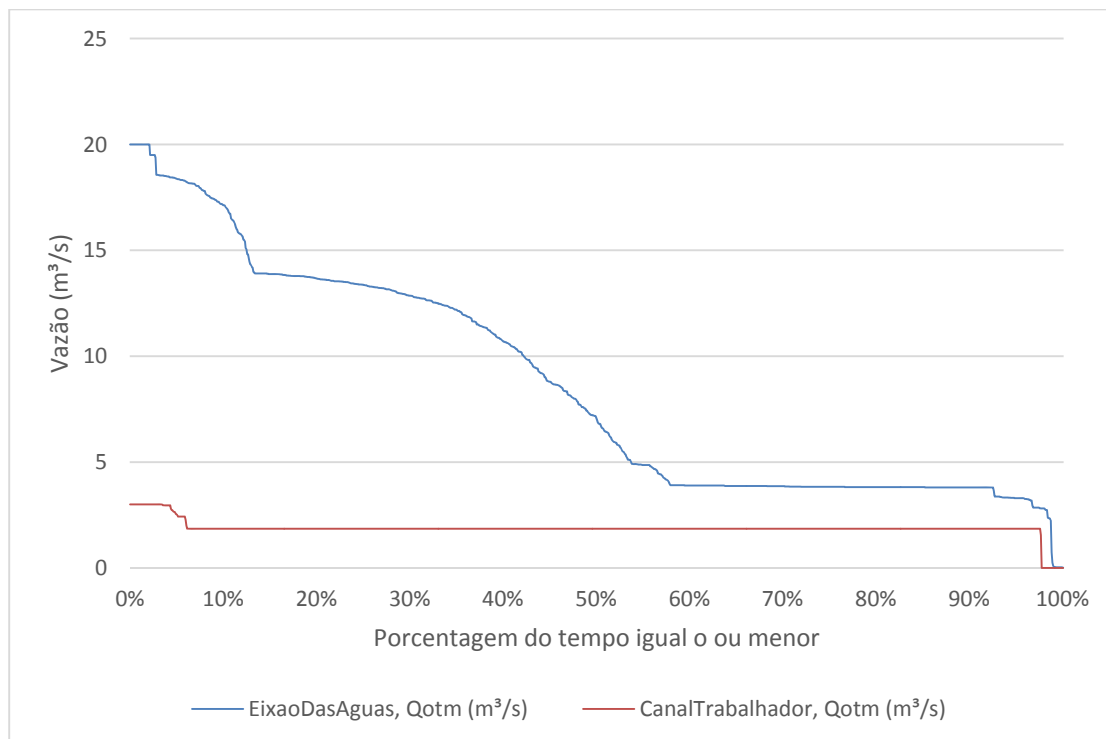


Figura 6.20 – Curva de permanência da transferência hídrica mensal ocorrida entre os sistemas Jaguaribe e Metropolitano através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador.

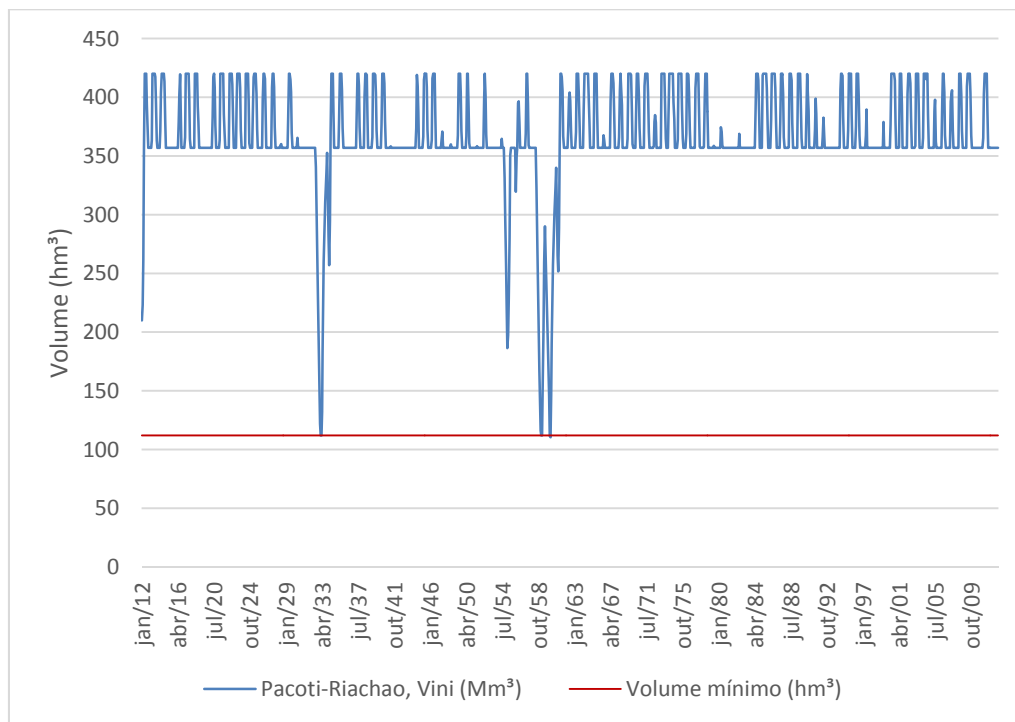


Figura 6.21 – Simulação da operação do reservatório Pacoti-Riachão, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais e capacidade máxima de transferência do Eixão das águas de 20 m³/s.

O comportamento do reservatório Pacajús pode ser visto na **Figura 6.22**. Este reservatório apresentou apenas 15 meses (1,2% do tempo) volume abaixo de 25% da capacidade máxima do reservatório. Em cinco meses da simulação, apresentou volume igual ou inferior ao seu volume mínimo operacional.

A operação do reservatório Gavião é apresentada na **Figura 6.23**. O reservatório apresentou volume mínimo 27,3 hm³ em, aproximadamente, 73% do tempo. Cabe destacar que nesta simulação não ocorreram falhas neste reservatório.

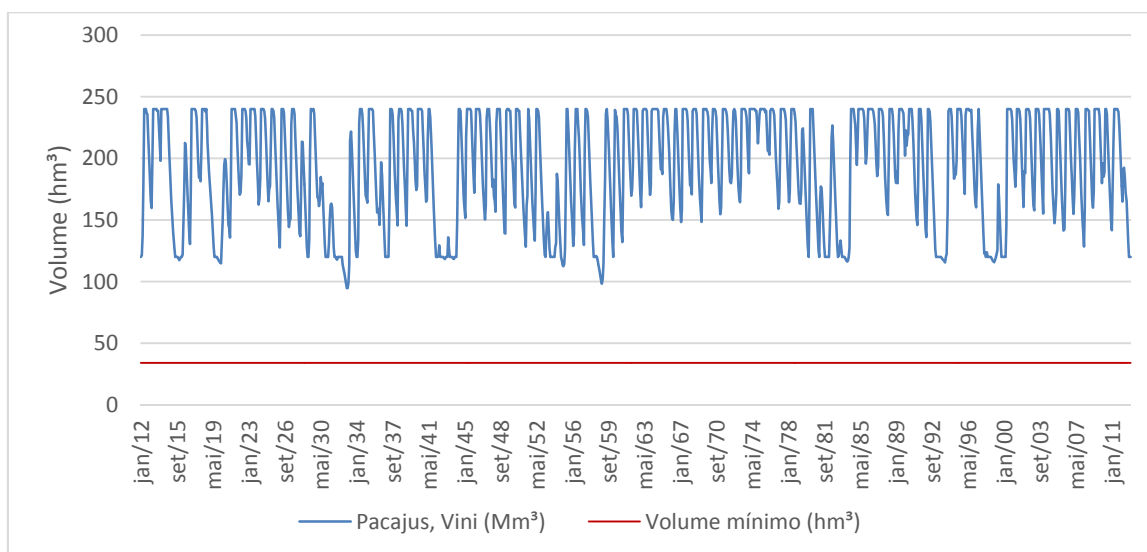


Figura 6.22 – Simulação da operação do reservatório Pacajus, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais e capacidade máxima de transferência do Eixão das águas de 20 m³/s.

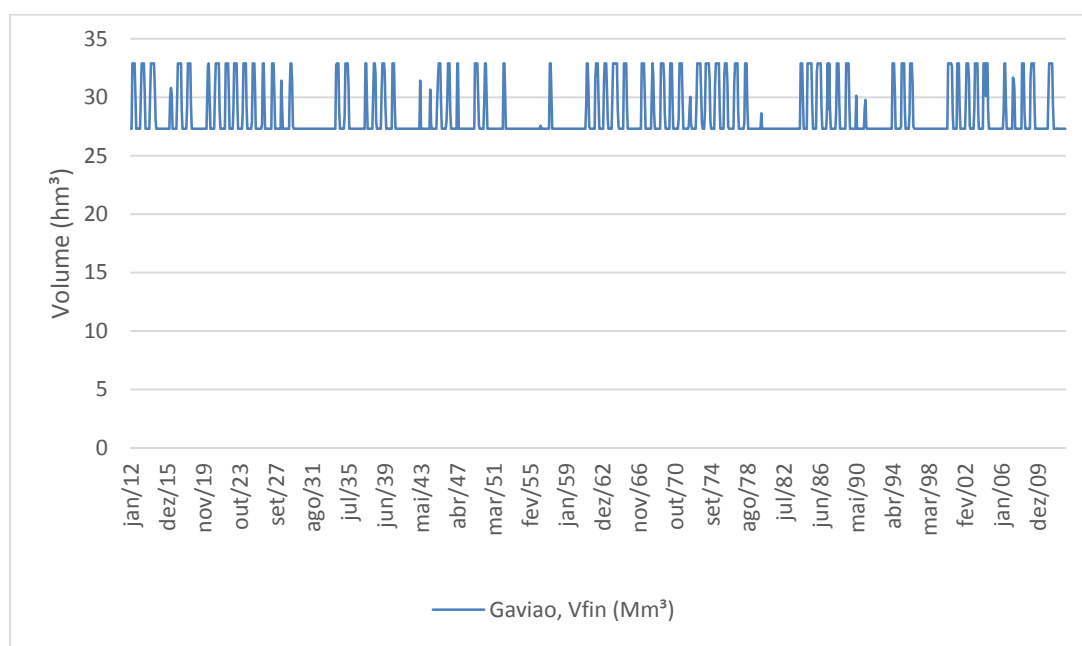


Figura 6.23 - Simulação da operação do reservatório Gavião, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais e capacidade máxima de transferência do Eixão das águas de 20 m³/s.

7 - REFERÊNCIAS

7 - REFERÊNCIAS

ACSELRAD, Henri. **Esboço sobre a Construção do Campo Ambiental e o Conceito de Conflitos Socio-Ambientais**. Texto para discussão apresentado no Curso Conflito Social e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, IPPUR/UFRJ, 309p.1997.

ALVES, B. C. C. **Avaliação dos padrões de variabilidade e mudança climática no setor hidrelétrico brasileiro**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado), Pós - Graduação em Engenharia Civil, Universidade federal do Ceará, 2012.

ANDRE, D. de M. **Determinantes espaciais e econômicos da demanda residencial por água em Fortaleza, Ceará**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Economia, 2012.

BANCO MUNDIAL. **Transferência de água entre bacias hidrográficas**. 1ed. Brasília. 2005. 93p.

BENTO, L. V. **Governança e governabilidade da reforma do Estado: entre eficiência e democracia**. Editora Manole, 2003.

BRASIL. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável: Território do Vale do Jaguaribe**. MDA/SDT/Fortaleza: Instituto Agropolos do Ceará, 366p. 2011.

BRUVOLD, W. **Municipal Water Conservation**. Califórnia Water Resources Center, Berkeley, September, 1988.

CEARÁ. **Revisão do Plano de Gerenciamento das Águas das bacias Metropolitanas**. Ceará: Secretaria de Recursos Hídricos/Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2010.

COGERH. **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**. CEARÁ: Secretaria de Recursos Hídricos/Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2000.

GUHATHAKURTA, S.; GOBER, P. The impact of the Phoenix urban heat island on residential water use. **Journal of the American Planning Association**, v. 73, n.3, p. 317-329, 2007.

IPECE. **Perfil básico municipal 2014** – Fortaleza. Secretária do Planejamento e Gestão/Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2014.

IPLANFOR/FCPC. **Interpretação da forma de Fortaleza: Urbanismo e Mobilidade.** Plano Mestre Urbanístico e de Mobilidade – Fortaleza 2040. Relatório Preliminar. Prefeitura Municipal de Fortaleza – IPLANFOR / FCPC. 2015a.

IPLANFOR/FCPC. **Demografia e dinâmica populacional.** Plano de Desenvolvimento Econômico e Social – Fortaleza 2040. Relatório Preliminar. Prefeitura Municipal de Fortaleza – IPLANFOR / FCPC. 2015b.

LABSID. Modelo de Rede de Fluxo - Acquanet. 2002. Universidade de São Paulo: Laboratório de Sistema de Suporte a Decisão. Disponível:<<http://www.labsid.eng.br/Programas.aspx>>Acesso em: 09 nov 2015.

LEMO, E. C. L.; CAVALCANTE, I. N.; SANTOS, A. C. Aspectos qualitativos das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Fortaleza. In: II Congresso internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, **Anais...**, 2011.

MARYLAND DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. **Guidance for developing & implementing a Water Conservation Plan.** Baltimore: Maryland, 14p. 2013.

PORTO, R. L. L. et al. Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos. 2014. 165p.

PRASKIEVICZ, S.; CHANG, H. Identifying the relationship between urban water consumption and weather variables in Seoul, Korea. **Physical Geography**, v. 30, n.4, p. 324-337, 2009.

RAFFESTIN, Claude. **Pour une géographie du pouvoir.** Paris, Litec, 1980.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **diagnóstico dos serviços de água e esgotos.** Brasília: Ministério das Cidades, 2014.

SILVA, S. M. O. **Compensação financeira como mecanismo de gestão de risco na alocação de água.** 2015. 175f. Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.



TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. 1º Edição, São Paulo, DHS/POLI – USP. 2006. 643p.

UFC/COGERH. **Relatório dos Estudos de regionalização de parâmetros de modelo hidrológico chuva-vazão, para as bacias totais e incrementais dos reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos**. Convênio UFC/COGERH/FCPC, Fortaleza, 2013, 24p.

USAID. **Adapting to climate variability and change: A guidance manual for development planning**. Washington, DC: United States Agency for International Development (USAID), WALPOLE, R., 2007.

ZHOU, S.; MCMAHON, T. A.; WANG, Q. J. Frequency analysis of water consumption for metropolitan area of Melbourne. **Journal of Hydrology**, v. 247, n.1, p.72-84, 2001



Rua Silva Jatahy, Nº 15, Ed. Atlantic Center, 7º Andar
Meireles - Fortaleza/CE
CEP.: 60.165-070
Fone / Fax: (85) 3198.5000
ibi@ibiengenharia.com.br