

# AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA DE FORTALEZA - VOL. 4

ESTUDOS TEMÁTICOS E SETORIAIS



**Prefeitura de  
Fortaleza**  
Instituto de Planejamento  
de Fortaleza



**FCPC**  
FUNDAÇÃO CEARENSE  
DE PESQUISA E CULTURA



**FORTALEZA2040**

Fortaleza, Ceará  
Julho de 2015

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA  
INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DE FORTALEZA - IPLANFOR  
FUNDAÇÃO CEARENSE DE PESQUISA E CULTURA -FCPC

**PROJETO:  
AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA DE FORTALEZA -  
FORTALEZA 2040**

**Autores**

Francisco de Assis de Souza Filho  
Samíria Maria Oliveira da Silva  
Daniel Antônio Camelo Cid  
Sandra Helena Silva de Aquino

**RELATÓRIO FINAL**

**FORTALEZA /CE  
Janeiro de 2016**



## Sumário

Lista de Figuras.....	6
1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Objetivos.....	13
1.2 Escopo .....	13
2 História do abastecimento de água de fortaleza.....	15
2.1 Deslocamentos em busca de água feitos por pessoas e animais... ..	15
2.2 Os avanços tecnológicos e a persistências das cacimbas. ....	17
2.3 Fortaleza para além do centro e a permanência do dilema do abastecimento de água.....	19
3 Avaliação da segurança hídrica atual .....	24
3.1 Aspectos Gerais.....	24
3.2 Oferta superficial.....	26
3.3 Oferta subterrânea .....	28
3.4 Balanço hídrico do sistema.....	33
3.4.1 Descrição do Modelo de Simulação .....	33
3.4.2 Dados do Modelo de Simulação: Oferta hídrica .....	35
3.4.3 Dados do Modelo de Simulação: Demanda hídrica .....	39
3.4.4 Simulação do Sistema.....	40
4 Avaliação da segurança hídrica futura .....	48
4.1 Sistema São Francisco- Jaguaribe-Metropolitano.....	48
4.2 Cenário de Oferta futura.....	49
4.3 Cenário de Demanda .....	52
4.4 Balanço hídrico do sistema.....	55
4.4.1 Cenário 4.....	56
4.4.2 Cenário 5.....	60

4.4.3	Cenário 6.....	64
4.4.4	Cenário 7.....	68
5	Gestão Integrada de águas urbanas .....	71
5.1	Motivação e Estratégia Geral.....	71
5.2	Gestão da Oferta Hídrica .....	75
5.2.1	Águas superficiais .....	75
5.2.2	Águas subterrâneas .....	75
5.2.3	Reuso .....	78
5.2.4	Água de chuva.....	81
5.2.5	Dessalinização.....	84
5.2.6	Tratamento, distribuição e perda de água .....	88
5.3	Gestão da Demanda.....	100
5.3.1	Instrumentos Econômicos, Financeiros e Comportamentais .....	100
5.3.2	Tecnologias para boas práticas de uso da água .....	105
5.4	Gestão de Cheias Urbanas .....	111
6	Análise do Impacto da gestão Integrada na Segurança Hídrica .....	121
6.1	Contribuição do Reuso de Água .....	121
6.2	Contribuição da Água de chuva.....	121
6.3	Contribuição da Dessalinização .....	122
6.4	Contribuição do São Francisco .....	122
6.5	Contribuição da Água subterrânea .....	122
6.6	Balanco Hídrico Agregado .....	123
7	Gestão de secas .....	126
8	FORTALEZA: CIDADE SOLIÁRIA.....	129
8.1	Meio urbano, Água e Conflito .....	129
8.2	Instrumento de Compensação Financeira.....	134
9	BIBLIOGRAFIAS .....	148

## Lista de Figuras

FIGURA 1. VISÃO PANORÂMICA DA PRAÇA MARQUÊS DE HERVAL COM DESTAQUE PARA O CATA-VENTO AO LADO DIREITO. HOJE PRAÇA JOSÉ DE ALENCAR.....	17
FIGURA 2. PRINCIPAIS MARCOS DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE FORTALEZA NO SÉCULO XIX.....	19
FIGURA 3. PRINCIPAIS MARCOS DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE FORTALEZA NO SÉCULO XX.....	23
FIGURA 4 - MAPA DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO CEARÁ.....	25
FIGURA 5. PRECIPITAÇÕES DE FORTALEZA PARA O PERÍODO DE 1849 A 2006. ....	26
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA JAGUARIBE-METROPOLITANO.....	27
FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA.....	29
FIGURA 8. REDE DE FLUXO DA MODELAGEM DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA BRUTA DA REGIÃO JAGUARIBE E METROPOLITANA DE FORTALEZA UTILIZANDO O SOFTWARE ACQUANET.....	34
FIGURA 9 - VARIAÇÃO SAZONAL DAS AFLUÊNCIAS DOS RESERVATÓRIOS QUE COMPÕEM O SISTEMA JAGUARIBE-METROPOLITANO, REPRESENTANDO A MÉDIA MENSAL, A MEDIANA E QUARTIS 25% E 75%: (A)ORÓS; (B) CASTANHÃO; (C) PACOTI-RIACHÃO.....	36
FIGURA 10 - 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: (A)ORÓS; (B) CASTANHÃO; (C) PACOTI-RIACHÃO.....	37
FIGURA 11. DEMANDAS HÍDRICAS DO SISTEMA JAGUARIBE-METROPOLITANO.....	40
FIGURA 12 - RESTRIÇÕES FÍSICAS E OPERACIONAIS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE FORTALEZA.....	41
FIGURA 13 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012 E DEMANDAS ATUAIS.....	42
FIGURA 14 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO ORÓS, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012 E DEMANDAS ATUAIS.....	43
FIGURA 15 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO PACOTI-RIACHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012 E DEMANDAS ATUAIS.....	43
FIGURA 16 - CURVA DE PERMANÊNCIA DOS DÉFICTS DE ATENDIMENTO DAS DEMANDAS DE FORTALEZA (D_GAVIÃO) E CIPP (D_CIPP).....	44
FIGURA 17 – ACUMULAÇÃO DOS SISTEMAS JAGUARIBE E METROPOLITANO, PARA O PERÍODO DE 1912-2012 E DEMANDAS ATUAIS.....	44
FIGURA 18 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS ATUAIS E CAPACIDADE MÁXIMA DE TRANSPORTE DO EIXÃO DE 20 m <sup>3</sup> /s.....	45
FIGURA 19 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO ORÓS, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS ATUAIS E CAPACIDADE MÁXIMA DE TRANSPORTE DO EIXÃO DE 20 m <sup>3</sup> /s.....	45
FIGURA 20 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO PACOTI-RIACHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS ATUAIS E CAPACIDADE MÁXIMA DE TRANSPORTE DO EIXÃO DE 20 m <sup>3</sup> /s.....	46

FIGURA 21 - ACUMULAÇÃO DOS SISTEMAS JAGUARIBE E METROPOLITANO, PARA O PERÍODO DE 1912-2012, DEMANDAS ATUAIS E CAPACIDADE MÁXIMA DE TRANSPORTE DO EIXÃO DE 20 M <sup>3</sup> /S.....	46
FIGURA 22 - CURVA DE PERMANÊNCIA DOS DÉFICITS DE ATENDIMENTO DAS DEMANDAS DE FORTALEZA (D_GAVIÃO) E CIPP (D_CIPP), PARA A SIMULAÇÃO 2. ....	47
FIGURA 23. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO PISF E SUA LOCALIZAÇÃO ENTRE AS SUB-BACIAS DO RIO SÃO FRANCISCO E AS BACIAS DO NORDESTE SETENTRIONAL. ....	48
FIGURA 24. REDE DE FLUXO DA MODELAGEM DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA BRUTA DA REGIÃO JAGUARIBE E METROPOLITANA DE FORTALEZA NO CENÁRIO FUTURO UTILIZANDO O SOFTWARE ACQUANET. ....	49
FIGURA 25. CENÁRIOS DO IPCC-AR E FORÇANTES RADIOATIVAS ANTROPOGÊNICAS GLOBAL. ....	51
FIGURA 26 - VARIAÇÃO PERCENTUAL NA MÉDIA ANUAL DE VAZÕES NO SÉCULO XXI PARA OS MODELOS DO CMIP5 PARA O CENÁRIO RCP4.5 PARA: (A) ÓROS , (B) CASTANHÃO, (C) BANABUIU .....	52
FIGURA 27 – CENÁRIOS DE DEMANDAS FUTURAS UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES: (A) dFJ 1.1 (B) dFJ1.2, (C) dFJ 1.3 E (D) dFJ 2.2.....	54
FIGURA 28- SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 1-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 20 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	56
FIGURA 29 – CURVA DE PERMANÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA À REGIÃO DO CEARÁ: VAZÃO DE CHEGADA AO RESERVATÓRIO CASTANHÃO.....	57
FIGURA 30 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO ORÓS, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 2-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 20 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	57
FIGURA 31 – CURVA DE PERMANÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA HÍDRICA MENSAL OCORRIDA ENTRE OS SISTEMAS JAGUARIBE E METROPOLITANO ATRAVÉS DOS CANAIS EIXÃO DAS ÁGUAS E CANAL DO TRABALHADOR (VAZÕES DE CHEGADA À RMF). ....	58
FIGURA 32 – SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO PACAJUS, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 2-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 20 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	59
FIGURA 33 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO PACOTI-RIACHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 2-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 20 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	59
FIGURA 34- SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 1-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	61
FIGURA 35 – CURVA DE PERMANÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA À REGIÃO DO CEARÁ: VAZÃO DE CHEGADA AO RESERVATÓRIO CASTANHÃO.....	61
FIGURA 36 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO ORÓS, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 1-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	62
FIGURA 37 – CURVA DE PERMANÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA HÍDRICA MENSAL OCORRIDA ENTRE OS SISTEMAS JAGUARIBE E METROPOLITANO ATRAVÉS DOS CANAIS EIXÃO DAS ÁGUAS E CANAL DO TRABALHADOR (VAZÕES DE CHEGADA À RMF). ....	62
FIGURA 38 – SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO PACOTI-RIACHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 1-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	63
FIGURA 39– SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO PACAJÚS, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS dFJ 1-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	63

FIGURA 40- SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS DFJ 2-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	65
FIGURA 41 – CURVA DE PERMANÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA À REGIÃO DO CEARÁ: VAZÃO DE CHEGADA AO RESERVATÓRIO CASTANHÃO.....	65
FIGURA 42 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO ORÓS, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS DFJ 2-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	66
FIGURA 43 – CURVA DE PERMANÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA HÍDRICA MENSAL OCORRIDA ENTRE OS SISTEMAS JAGUARIBE E METROPOLITANO ATRAVÉS DOS CANAIS EIXÃO DAS ÁGUAS E CANAL DO TRABALHADOR (VAZÕES DE CHEGADA À RMF). ....	66
FIGURA 44 – SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO PACOTI-RIACHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS DFJ 2-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10 M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPOSTA DO RIO SÃO FRANCISCO. ....	67
FIGURA 45- ACUMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO E VAZÃO DA TRANSPosição DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O CENÁRIO DE DEMANDA DFJ 1.2 E VAZÕES FUTURAS DOS MODELOS: BCC-CSM1.1 (A), HADGEM2 (B) E MIROC5 (C).....	71
FIGURA 46. MODELO DE GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS URBANAS.....	74
FIGURA 47. PERFIL CONSTRUTIVO E LITOLÓGICO DE POÇO TUBULAR RASO EM ABREULÂNDIA, MUNICÍPIO DE FORTALEZA- CE. ....	77
FIGURA 48. EXEMPLO DE PROJETO DE SEPARAÇÃO DE ESGOTO.....	80
FIGURA 49. FORMAS CONSTRUTIVAS DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA. ....	82
FIGURA 50. CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL EM USINAS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR. ....	86
FIGURA 51. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA TÍPICO.....	88
FIGURA 52. NÍVEIS DE PERDAS (REAIS E APARENTES). ....	93
FIGURA 53. CUSTO TOTAL DECORRENTES DA PERDA DE ÁGUA. ....	94
FIGURA 54. BANDAS DE REFERÊNCIA PARA A REDUÇÃO DE PERDAS.....	95
FIGURA 55. CRUZ DE PERDAS REAIS. ....	97
FIGURA 56. PERDAS VISÍVEIS, NÃO-VISÍVEIS E AÇÕES DE CONTROLE. ....	98
FIGURA 57. SÍNTESE DAS AÇÕES PARA O CONTROLE E A REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES. ....	99
FIGURA 58. DETERMINANTES DO CONSUMO DA ÁGUA RESIDENCIAL. ....	104
FIGURA 59. AREJADOR ECONOMIZADOR PARA TORNEIRA. ....	106
FIGURA 60. FUNCIONAMENTO DE UMA TORNEIRA HIDROMECÂNICA. ....	107
FIGURA 61. ESQUEMA DE UM MICTÓRIO SEM USO DE ÁGUA E VISTA DO APARELHO.....	109
FIGURA 62. ESQUEMA INDICATIVO DE UMA VALA DE INFILTRAÇÃO.....	114
FIGURA 63. POÇO DE INFILTRAÇÃO, E SUA INTEGRAÇÃO COM O ESPAÇO URBANO. ....	114
FIGURA 64. PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL.....	115
FIGURA 65. ESQUEMA INDICATIVO DA UTILIZAÇÃO DAS TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO. ....	116
FIGURA 66. BACIA DE DETENÇÃO ABERTA COM EQUIPAMENTOS PÚBLICOS EM BELO HORIZONTE-MG. ....	117
FIGURA 67 – SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA BRUTA NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA MODELADA COM O SOFTWARE ACQUANET, INCLUINDO USOS ALTERNATIVOS DE ÁGUA (DESSALINIZAÇÃO, REUSO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA) .....	123



FIGURA 68 - SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO, COM VAZÕES HISTÓRICAS DE 1912-2012, DEMANDAS DFJ 1-2 E CAPACIDADE MÁXIMA DE 10M <sup>3</sup> /S DE ÁGUA TRANSPONDA DO RIO SÃO FRANCISCO, UTILIZANDO FONTES ALTERNATIVAS DE SUPRIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA.....	124
FIGURA 69. VISTA DA PÁGINA INICIAL DO SSD.....	127
FIGURA 70. VISTA DA PÁGINA DE MONITORAMENTO E ALERTA PRECOZE DO SSD. ....	129
FIGURA 71. VAZÃO ALOCADA COM O MECANISMO DE PRIORIDADE E RATEIO LINEAR (HM <sup>3</sup> /ANO) NO CENÁRIO DE VAZÃO ZERO UTILIZANDO A SÉRIE HISTÓRICA DE JULHO 1912 A JULHO 1996.....	136
FIGURA 72 - REGRA DE OPERAÇÃO DO MECANISMO FINANCEIRO.....	138
FIGURA 73 - RELAÇÃO ENTRE A RETIRADA CONTROLADA E O VOLUME ARMAZENADO NO RESERVATÓRIO.....	139
FIGURA 74 - CURVA DE DEMANDA DESAGREGADA POR SISTEMA.....	140
FIGURA 75 - FLUXOGRAMA DE DECISÃO DO ESTADO DAS ÁGUAS DOS RESERVATÓRIOS. ....	142
FIGURA 76 - VALORES DE COMPENSAÇÃO FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO ABASTECIDA PELOS RESERVATÓRIOS BANABUIÚ, CASTANHÃO E ORÓS COM EXCEÇÃO DA IRRIGAÇÃO DO CANAL DO TRABALHADOR E EIXÃO. ....	144
FIGURA 77 - VALORES DE COMPENSAÇÃO FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO ATENDIDAS PELAS ÁGUAS DO CANAL DO TRABALHADOR E DO EIXÃO. ....	145
FIGURA 78 - COMPORTAMENTO DA AFLUÊNCIA MÉDIA PARA OS BIÊNIOS CRÍTICOS. ....	145

## 1 INTRODUÇÃO

A temática segurança e suas adjetivações (alimentar, pública, hídrica dentre outras) figura como elemento central das preocupações com os rumos do mundo social contemporâneo, demandando uma análise nos contextos dos processos de decisão da economia, política e geopolítica. Trata-se de um mundo tensionado por crises de ordens econômicas, sociais, e ambientais num contexto marcado pela expansão da volatilização do capital financeiro (capital rentista), pela liquidez conforme preconizada por Bauman (2001), pelas incertezas, pelas fragmentações, por novas configurações de poder, pela deflagração e acirramento de conflitos. Um mundo de deslocamentos e incertezas como nos fala Giddens (1994).

É nesse contexto que as discussões acerca do acesso à água, em termos quantitativos e qualitativos, despontam como uma das urgências da contemporaneidade. Trata-se da segurança hídrica, a qual, conceitualmente, passou a ser difundido a partir da Declaração Ministerial do 2º Fórum Mundial da Água, ocorrido na cidade de Haia no ano de 2000.

Embora possua diferentes definições, o conceito de segurança hídrica adotado nesse trabalho foi definido pela ONU como a “...capacidade de uma população para garantir o acesso sustentável a quantidades adequadas de água, com qualidade aceitável para a subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, assegurando a proteção dos recursos hídricos contra a poluição e os desastres relacionados com a água, bem como a preservação dos ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política” (UN-Water, 2013, p.02).

Entendida dessa forma, a segurança hídrica associa-se as categorias segurança alimentar e ambiental, evidenciando a necessidade de extrapolação da gestão integrada dos recursos hídricos (prevenir-controlar-garantir) para aportar numa gestão pautada no risco, a qual assenta-se em outro tripé, a saber: incertezas, adaptação e risco de falha. Esses tripés não são excludentes, mas sim pares dialéticos na busca e construção da segurança hídrica num contexto de uma gestão adaptativa que reconhece a importância de ações interdisciplinares capazes de superar os desafios impostos pela forma inadequada de uso e ocupação do solo e pelo uso ineficiente/degradante dos recursos hídricos, que são resultados do atual modelo urbano-industrial.

Mas falar de segurança hídrica é reconhecer a existência do risco climático em função das alterações dos padrões de variabilidade do clima que evidenciam clivagens relativas ao acesso à água por parte da população e aumento das incertezas. Esta variabilidade do clima impõe um risco, condicionando o desenvolvimento de um determinado local. Quando ocorre um fenômeno climático extremo (como por exemplo, uma seca) em uma região pobre, cuja população apresenta significativo grau de vulnerabilidade, os impactos causados podem durar anos e desestabilizar toda a economia local. Para as pessoas que dedicam as suas vidas à agricultura, a precipitação e a vazão variável/incerta constitui uma poderosa fonte risco. Para os habitantes das áreas urbanas mais pobres, as inundações constituem uma ameaça constante, bem como prolongados períodos de seca para cidades dependentes de recursos hídricos trazidos de lugares cada vez mais distantes para atender as demandas do atual modelo urbano-industrial.

Em todo o mundo, as vidas são marcadas pelos riscos de um clima incerto. Na verdade, o risco sempre esteve presente na história da humanidade, mas com o advento da modernidade o conceito de risco se complexifica na medida em que a produção social da riqueza é acompanhada pela produção social dos riscos, os quais não respeitam fronteiras. No caso específico da hidrologia o conceito de risco está associado ao da probabilidade de falha do sistema.

Desta forma, a segurança hídrica requer a compreensão de que o clima age como vetor de transformações que aumentam e potencializam os riscos. Tal questão ressalta a necessidade de ações no âmbito de uma lógica adaptativa, fruto de planejamento em diversas escalas temporais. Daí porque afirmar que a governança da água se configura como um processo gradual e contínuo que precisa ser constantemente aprimorado em função do aumento das incertezas e riscos gerados, principalmente, pelas mudanças climáticas.

Pensando na governança da água em cidades faz-se necessário explicitar os princípios e fundamentos que norteiam as análises apresentadas nesse documento além dos conceitos citados anteriormente. Assim, sobressai-se três princípios:

- i. Cidade Sustentável e Resiliente: Sustentável do ponto de vista do reconhecimento do direito de uso dos recursos pela geração atual, sem comprometer o acesso e uso das populações futuras. Resiliente no sentido atribuído pela ecologia, ou seja, o sistema sócio-natural deve ser capaz de absorver os impactos, sem perder suas funções;

- ii. Cidade de Inovações: Inovação enquanto mecanismo de prova de novas tecnologias em consonância com a realidade local;
- iii. Cidade Solidária: Sinalizando a necessidade de redução das externalidades, possibilitando que o crescimento ocorra sem impor sacrifícios a populações e lugares que estão para além da fronteira, no caso específico, de Fortaleza.

A cidade considerada neste estudo é Fortaleza, localizada no estado do Ceará. É um município totalmente urbano com 2.452.185 habitantes (IBGE, 2010), PIB *per capita* de 16.963 reais calculado para o ano de 2011 (IPECE, 2014) e uma demanda hídrica de aproximadamente 10m<sup>3</sup>/s.

Em seu processo de expansão urbana, a capital cearense exibe grandes contrastes sociais (renda, educação e moradia) e de infraestrutura urbana em seus bairros. O provimento dos serviços urbanos, dentre os quais se tem o saneamento básico, se distribui irregularmente pelos bairros de Fortaleza, independentemente de sua localização (BENTO, 2011).

Em termos de planejamento, Fortaleza está inserida na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) compartilhando o abastecimento de água com os outros municípios dessa região. Vale ressaltar que Fortaleza junto com o Complexo Industrial e Portuário do Pecém em São Gonçalo, possui papel de liderança na dinâmica dos processos sociais, econômicos e políticos do estado do Ceará.

A oferta hídrica é composta por águas locais e inter-regionais, provenientes da bacia hidrográfica do Jaguaribe, assim como, futuramente, da transposição de águas do rio São Francisco.

O sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, inicialmente, era composto por cinco reservatórios que somam uma capacidade de acumulação de 871 hm<sup>3</sup>, são eles: Gavião, Pacoti e Riachão, Pacajus e Aracoíaba. Devido ao crescimento da demanda, este sistema passou a receber águas provenientes da bacia do Jaguaribe formando o sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Assim, o abastecimento dos diversos usos da água (humanos, industriais e de serviços) de Fortaleza é realizado pela oferta local e por águas advindas da transferência da bacia do Jaguaribe, chamado neste estudo de sistema padrão. Este relatório analisa a Segurança Hídrica do abastecimento de água bruta de Fortaleza considerando as demandas atualmente instaladas.

## **1.1 Objetivos**

Este estudo busca avaliar a segurança hídrica quantitativa do município de Fortaleza para um horizonte de 2040.

Especificamente pretende-se:

- ✓ Apresentar a história do abastecimento de água de Fortaleza;
- ✓ Avaliar a segurança hídrica quantitativa de Fortaleza considerando a oferta e demanda hídrica atual;
- ✓ Avaliar a segurança hídrica quantitativa de Fortaleza considerando a oferta e demanda hídrica futura;
- ✓ Propor um modelo integrado de gestão integrada de águas urbanas como abordagem estratégica do problema da água em Fortaleza;
- ✓ Analisar o impacto do modelo de gestão integrada de águas urbanas sobre a segurança hídrica de Fortaleza.

## **1.2 Escopo**

O relatório está organizado em nove seções a contar com a introdução. Na primeira seção tem-se a história do abastecimento da cidade de Fortaleza como resultado de pesquisa bibliográfica/documental e realização de entrevistas abertas com informantes chaves. Na terceira seção faz-se uma descrição sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos das bacias metropolitanas com foco em Fortaleza. Descreve-se também o sistema de abastecimento de água bruta deste município apontando que ele disputa a oferta de água com a bacia do Jaguaribe havendo conflitos intersetoriais e inter-regionais. Apresenta-se o modelo numérico utilizado para a simulação e operação do sistema de abastecimento bem como, expõem-se os dados de oferta, demanda hídrica, as falhas dos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitano e as garantias do abastecimento das demandas deste sistema.

A quarta seção apresenta-se o balanço hídrico futuro para Fortaleza. Expõem-se os cenários de demanda com as projeções da população de fortaleza e dos usuários da bacia do Jaguaribe, os cenários de incerteza sobre o consumo per capita, e os cenários de vazões futuras utilizados nas simulações do sistema. Nesta seção, exhibe-se ainda os cenários de simulação do sistema, isto é, a combinação dos cenários de demanda hídrica com os cenários de vazão e os resultados de cada uma das simulações apontando-se para os volumes dos principais reservatórios, a curva de permanência da transferência hídrica

nos canais de transposição de água existentes no sistema e o déficit de atendimento da demanda.

A quinta seção apresenta a proposição do modelo de gestão integrada de águas urbanas para Fortaleza. Nesse modelo, consideram-se novas fontes de abastecimento para a gestão da oferta hídrica como, o reúso e a dessalinização. Ressalta-se necessidade de gestão da demanda pautada na utilização de instrumentos econômicos, financeiros, comportamentais e no uso de tecnologias economizadoras de água. Além disso, faz-se uma descrição sobre a gestão de cheias urbanas com base na utilização de medidas de drenagem urbana compensatória.

Na sexta seção expõe-se uma análise do impacto do modelo de gestão integrada de águas urbanas apresentando as contribuições de cada uma das fontes alternativas de água para a oferta hídrica de Fortaleza. Enquanto que, na seção seguinte faz-se uma descrição sobre a gestão de seca e apresenta-se um sistema de suporte à decisão como ferramenta de monitoramento e alerta de secas.

A oitava seção apresenta um contexto sociológica e econômico sobre como Fortaleza pode ser solidária com vistas a redução os conflitos com a região do Jaguaribe. Dentro desse contexto, expõe a proposição de um mecanismo financeiro como forma de compensar a bacia do Jaguaribe pela transferência hídrica. Na nona sexta aponta-se as referências bibliográficas.

## **2 HISTÓRIA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE FORTALEZA**

Esta seção apresenta uma narrativa da história do abastecimento da cidade de Fortaleza mediante informações divulgadas em jornais, artigos e livros frutos de pesquisa bibliográfica/documental e, especialmente, relatos orais de interlocutores chave que se dedicaram a estudar esta cidade e seu processo de desenvolvimento. As informações obtidas falam de concessões, estratégias e mecanismos técnicos para a distribuição da água, mas também de práticas cotidianas como preconiza Certeau (1994).

### **2.1 Deslocamentos em busca de água feitos por pessoas e animais...**

Narrar o processo de abastecimento de água de Fortaleza é ter em mente as dobras e as tessituras de uma história marcada por tensões, conflitos e práticas sociais não igualitárias de apropriação desse recurso.

A cidade é o cenário, mas o que dá tom da história são as práticas cotidianas que envolvem a busca, o deslocamento e a distribuição de um líquido vital, em certo momento abundante, de livre acesso e que, paulatinamente, foi tendo um custo financeiro associado ao uso e acesso. Isso passa pela percepção que a história do abastecimento não se limita a implantação de uma rede de distribuição com tubos e conexões, está também foi feita por braços de escravos, populações não-escrava de baixa renda e por lombos de animais ou em carroças.

Compreender essa história requer perceber as conexões entre tempo e espaço, bem como as ligações entre próximo e distante. Inicialmente, as cidades nasciam e se desenvolviam as margens dos mananciais. Fortaleza não fugiu a essa regra.

As tentativas de colonização do território, do que depois se tornaria a cidade de Fortaleza, esteve condicionada a encontrar um lugar que tivesse água. Dois lugares foram encontrados: as porções de terra próximas aos riachos Pajeú e as do Jacarecanga. Como nos foi relatado em entrevista, embora a água deste último riacho fosse superior em termos de qualidade do que a do Pajeú, a existência de várias dunas móveis impossibilitou a fixação dos colonizadores no lugar com melhor qualidade de água, levando-os a optar por uma “cabeça de morro” próximo ao Pajeú que lhes possibilitava avistar o Mucuripe (local de parada dos navios) e ter acesso à água potável. Este morro era denominado Marajaitiba, sob o qual Matias Beck constrói o Forte Schoonerborch,

que induz o surgimento de um pequeno povoado que, posteriormente se transformará na cidade de Fortaleza.

O abastecimento de água da Vila pelo riacho Pajeú se deu nas primeiras décadas do século XIX. Em alternativa ao uso dessas águas, Nobre (1978) nos conta que é construído o primeiro chafariz da Vila em 1813 em terreno particular de João da Silva Feijó, localizado próximo ao porto, na área denominada Prainha (especificamente na atual rua José Avelino). O cano passava por dentro desse terreno, indo até a praia, na época ficava na atual Avenida Pessoa Anta. Mas o uso desse chafariz esteve muito mais ligado ao abastecimento dos navios do que uma utilização ampla por parte da população em virtude da dificuldade de acesso devido a sua topografia. Importante destacar que nessa região onde se instalou o primeiro chafariz da cidade era uma área úmida, na qual também era feito o cultivo de flores. Maia Neto (2014) nos relata que, vinte e três anos depois, surge um novo chafariz localizado no Largo do Palácio (hoje no local tem uma agência do Banco do Brasil e o Palácio do Comércio) que passa a ser utilizado de forma mais ampla pela população, cujas águas provinham de uma barragem construída no riacho Pajeú. Apesar de problemas de qualidade da água, a população continuou a se servir dessas águas e de outras localizadas mais distantes, tais como dos chafarizes da Prainha, da Lagoinha, do riacho do Jacarecanga e da Cacimba do Povo, situada no Outeiro. Nesse momento, as águas eram trazidas por escravos, trabalhadores livres de baixa renda, também chamados de “aguadeiros” para encher os potes das casas.

Ainda no século XIX, O referido autor afirma que existiam outras alternativas de abastecimento, a saber: cacimbas particulares, cacimbas compartilhadas entre vizinhos e cacimba de uso pública. A busca de água nas cacimbas públicas, como a Cacimba do Povo, era marcada por brigas e por práticas consideradas anti-higiênicas, que passam a preocupar as autoridades e população da época que demandam providências para evitar tais problemas. As soluções encontradas são o emprego de uma bomba com uma tina de metal e a contratação de zeladores para disciplinar o uso de tais águas e evitar o encontro demorado de escravos nas imediações das cacimbas (MAIA NETO, 2014).

Nas entrevistas realizadas para esse trabalho, um interlocutor menciona que todas as praças da cidade se originaram em terrenos que foram reservados para a escavação das cacimbas como estratégia, na época, para evitar a poluição. Esse tipo de intervenção urbana não é resultado de preocupação ambiental, mas de um modo objetivo de conceber os espaços da capital. Ao evitar problema de poluição com a proximidade de fossas, essas fontes deparam-se com problemas de como fazer a retirada



da água à superfície. Surgem os cata-ventos na paisagem urbana, primeiro feitos de carnaúba. Com o avanço industrial aparecem os cata-ventos de metal e a ideia de fazer poços profundos. Tudo isso dentro do contexto do surgimento, inicialmente na Europa, da energia a vapor. Novidade que se espalha pelo mundo e também aporta em Fortaleza.

A água era trazida aos domicílios em lombos de jumentos, pelos aguadeiros e também pelos cata-ventos de metal. Estes fabricados por empresa americana eram instalados em residências de alto padrão e em comércios.

## 2.2 Os avanços tecnológicos e a persistências das cacimbas.

A partir da metade do século XIX, emerge o sistema de bombeamento de água oriundo do Sítio Benfica para chafarizes (Municipalidade-localizado na Praça do Ferreira, Garrote-situado na Cidade da Criança, Carolina-construído na Praça Waldemar Falcão e Patrocínio- encontrado na Praça José de Alencar) e para algumas residências. A existência desse sistema é precedida por um estudo sobre abastecimento pelo engenheiro Bertholt realizado em 1861. Quando em 1963, José Paulino Hoonholtz ganha a concessão de abastecimento por 50 anos que, posteriormente, repassa para uma empresa estrangeira (Ceará Water Company).



Figura 1. Visão Panorâmica da Praça Marquês de Herval com destaque para o cata-vento ao lado direito. Hoje Praça José de Alencar.  
Fonte: Arquivo Nirez (2010).

Importante ressaltar que a concessão particular para o abastecimento não suplanta as formas tradicionais de obtenção de água na medida em que não há uma universalização do sistema de distribuição. Inclusive, a população de baixa renda não

dispõe de recursos financeiros suficientes para pagar por tal serviço. Nesse aspecto, é relevante afirmar que “em Fortaleza o fornecimento de água até 1926 ainda era efetuado em lombos de jumentos, com depósitos de madeira” (JUCA, 2000, p. 116).

Outro fato importante na história do abastecimento de Fortaleza é a participação de uma empresa inglesa, intitulada Ceará Water Company, responsável pela exploração e comercialização da água. Esta era captada no sítio Benfica e bombeada gravitacionalmente para o centro da cidade. Esse sistema entra em colapso devido à seca de 1877 e a empresa solicita o cancelamento do contrato com o governo. Segundo Jucá (2000) no início do século XX, o engenheiro João Felipe Pereira elaborou um novo projeto de abastecimento para cidade durante a gestão do governo Accioly. Mas a deposição deste impediu a execução do projeto, embora tenham sido construídas as duas caixas de água situadas nas proximidades da atual Praça da Bandeira (conhecida antigamente como Praça do Encanamento), que na época era o ponto mais alto que permitiria fazer a água fluir por gravidade em direção ao Centro. A implantação implica em tensões e conflitos com a população, quando são ordenados os aterramentos das cacimbas para que o acesso e a distribuição fossem feitas apenas pela Ceará Water Company.

Com a impossibilidade de extrair água do solo em função da baixa do lençol freático provocado pela seca de 1877, a Companhia estrangeira se afasta e começam novamente a serem cavados cacimbas com a importação de arcos de pedras devido a característica arenosa do solo. Um exemplo de construção desse tipo pode ser observado, ainda hoje, na Praça do Ferreira. Associada a isso há a difusão do cata vento metálico que como nos lembra um interlocutor da pesquisa “rangiam de dia e noite”. Era na verdade, um invento que, de certa forma desobrigava as pessoas de maior poder aquisitivo de fazer força ou pagar pela força de um indivíduo, transferindo essa função para o vento, bastante abundante na capital.

Um fato curioso mencionado em entrevista refere-se ao projeto elaborado pelo cearense João Felipe Pereira na gestão Accioly. Ao abrir as valas para colocar os canos de esgoto, o governo é derrubado em 1912 e estas passam a servir de trincheiras. Depois tudo fica abandonado.

As descrições apresentadas anteriormente sobre a história do abastecimento de Fortaleza permitem afirmar que as águas ainda eram obtidas localmente. Algumas situadas um pouco mais distante da área central, mas sempre dentro da malha urbana da Vila, posteriormente da Capital. Havia uma conexão marcada por uma relação de

proximidade entre lugares de moradia, comércio e fontes de água na medida em que a cidade ainda não havia se espraiado para além da área que atualmente compõe o Centro. Nesse contexto, a população de Fortaleza que em 1860 era de 8.000 habitantes, passou para 100.000 habitantes dezessete anos depois. Esse aumento significativo, contam os historiadores, é fruto da emigração do interior em direção à Fortaleza devido a seca de 1877, que dentre outros impactos, ocasionou a falência da companhia de abastecimento da cidade (Ceará Water Company) em função da baixa do lençol freático, inviabilizando a exploração de água subterrânea. Os principais marcos podem ser observados na Figura 2.

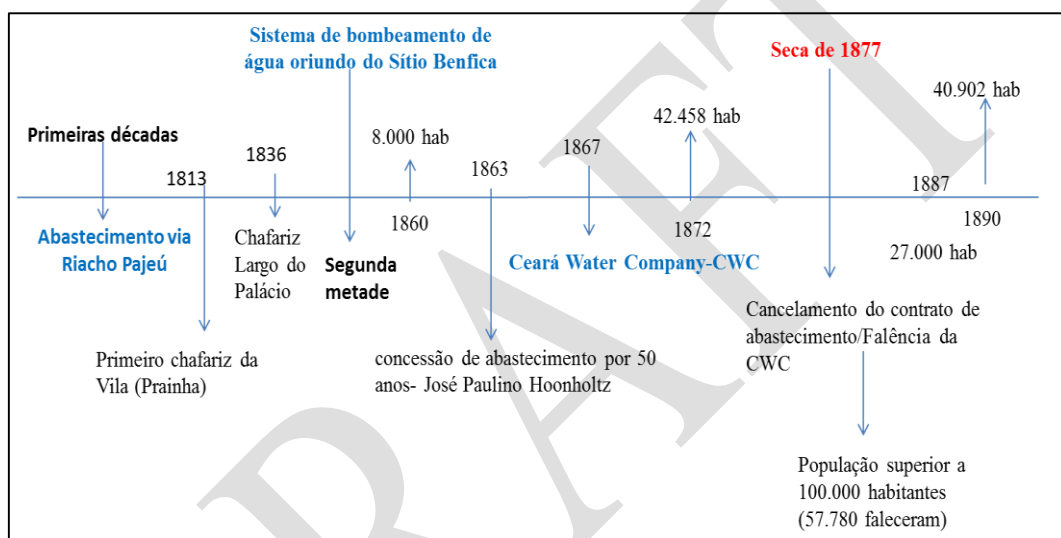


Figura 2. Principais marcos do abastecimento de água de Fortaleza no Século XIX

### 2.3 Fortaleza para além do centro e a permanência do dilema do abastecimento de água

O processo de expansão inicial se dá em 1915 para o bairro do Jacarecanga, quando a fronteira demarcada pela Avenida Imperador é ultrapassada pelas elites locais em virtude da chegada dos chamados retirantes da seca. Posteriormente, tal migração se verifica para a Praia de Iracema e para o bairro do Benfica, sendo este último ocupado em menor escala a partir do ano de 1920 (CORDEIRO, 1996).

Em 1923 é inaugurado o serviço de água e esgoto fornecido por uma empresa americana, sem que a área atendida pelo reservatório Acarape tivesse sido ampliada, o qual foi construído entre a primeira e segunda década do século XX. Disso decorre, a continuidade de venda de água em carroças pela cidade, exceto nas áreas beneficiadas pelo encanamento de água domiciliar como nos relata Juca (2000).

Em 1927 havia o açude Acarape do Meio, na serra do Baturité que drenaria a água para capital até chegar às caixas de águas próximas à Faculdade de Direito da Universidade Federal do Ceará, já citada anteriormente. Esse período marca a fase inicial que parte da cidade terá um sistema de água e esgoto.

A década de 1930 marca a existência de dois processos importantes para esta narrativa. O primeiro refere-se ao dinamismo pelo qual passa Fortaleza no ano de 1932 empreendido pelo crescimento urbano e populacional, que se revela por uma ocupação significativa da cidade na direção oeste, embora a ampliação da infraestrutura básica não tenha ocorrido paralela à essa expansão. Esta marca e altera a paisagem da capital que passa a ter valorizações distintas de alguns espaços (SILVA, 1992). O outro elemento é uma nova tentativa de abastecimento de Fortaleza, dessa vez com ampliação da área a ser atendida. Mas o trabalho realizado pela empresa Saturnino de Brito sofreu paralizações devido à falta de recursos financeiros do estado, comprometendo que tal ampliação se efetivasse de modo significativo.

Segundo Juca (2000) “até 1942, Fortaleza dispunha de 6.000 m<sup>3</sup> diários de água fornecida pelo açude Acarape, sendo ampliada a linha adutora no final da década, por Saturnino de Brito, a fim de atingir 8.000 m<sup>3</sup>” (JUCA, 2000, p. 117). Algumas ações recomendadas no plano desta empresa não foram implementadas em função da situação financeira do Estado. Mais uma vez, a rede de abastecimento não passou por melhorias significativas. Mantiveram-se poços, cacimbas, cacimbões, muitos situados próximos as fossas domiciliares.

Contudo, em 1954, o governo estabelece novo contrato com esse escritório para ampliar o serviço de água e esgoto. Nesse momento, o fator proximidade com a fonte de abastecimento perde relevância na medida em que novas técnicas de captura e deslocamento de água chegam à cidade a partir da década de 1940. Mas as águas trazidas do Acarape chegam sem força para subir para as caixas de águas devido a problemas de deterioração dos encanamentos. Em 1959 é celebrado pelo governo do estado um novo contrato com essa mesma empresa que resultou na construção de uma adutora, mas que não foi capaz de solucionar os problemas de abastecimento da cidade, que mantém o bombeamento de poços e cacimbas.

“A dificuldade de água potável e o obsoleto sistema de fornecimento persistiam em Fortaleza. Além do parco atendimento, limitado à área central e imediações, a água salobra - popularmente denominada ‘água pesada’-

levava os moradores, que não dispunham de recursos para construir cisternas, ou depender das carroças d'água, que percorriam diferentes bairros, vendendo água de melhor qualidade. Por isso o serviço de abastecimento dependia muito mais da iniciativa particular do que do poder público (JUCA, 2000, p. 120).

O dilema de abastecimento de água da cidade se agrava nos anos 1970, quando começam a surgir os primeiros núcleos comerciais na área da Aldeota e ao longo da avenida Gomes de Matos no atual bairro do Montese (SOUZA, 1978). Mas, sobretudo, devido ao forte processo de urbanização, início da verticalização para além do centro e reforço da industrialização pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE e pelo Banco do Nordeste-BNB, que se torna premente repensar o sistema de abastecimento da cidade e agora de sua região metropolitana.

Em relação ao processo de verticalização é importante destacar o depoimento de outro interlocutor chave. Este relata que por Fortaleza ser uma cidade plana e nos 1970 ter tido significativa a construção de edifícios, a distribuição de água foi diretamente afetada. No interior dos edifícios foram construídas cisternas que armazenam as águas para distribuir nas áreas molhadas dos condomínios e de suas unidades, acarretando o desabastecimento, algumas vezes, das casas situadas em seu entorno ou nas imediações. Daí, alerta que é mais fácil faltar água em casas (principalmente se não tiver cisterna) do que em edifícios.

Nessa mesma década, surge a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE através da Lei 9.499, de 20 de julho de 1971, que no período de 1977 a 1978 constrói o emissário submarino de Fortaleza e em 1981, o sistema Pacoti-Riachão-Gavião segundo dados oficiais.

Na década de 1990 um novo reservatório se junta aos demais para melhorar o abastecimento da cidade. Trata-se do açude Pacajus que data de 1992. No ano seguinte, a cidade de Fortaleza e sua região metropolitana sofrem ameaça de desabastecimento em decorrência da instalação de grave quadro de seca que demanda ações do Governo para evitar o colapso de abastecimento. A ação do governo volta-se para a construção em tempo recorde do Canal do trabalhador, mas que apresenta problemas de infraestrutura.

A captação por este Canal é realizada no município de Itaiçaba e barragem do mesmo nome de águas vindas dos reservatórios Orós e Banabuiú, localizados na região

hidrográfica do Jaguaribe. É o início da transferência de água de lugares que ultrapassam a Região Metropolitana de Fortaleza – RMF. Com o desenvolvimento de técnicas de captação de água por meio de tubulações, canais e adutoras, a cidade deixa, paulatinamente, de estar presa ao fator de localização, estabelecendo novas conexões entre próximo e distante. Cada vez mais as águas são trazidas de lugares distantes do espaço físico da RMF em função do seu padrão urbano-industrial, que, inclusive, caracteriza a vida de grandes centros urbanos do país.

Segundo dados da CAGECE, o Programa SANEAR I foi executado entre os anos de 1996 a 1998 com a finalidade de ampliar o atendimento com serviços de esgotamento sanitário, instalar hidrômetros em Fortaleza e a construir uma “estação de pré- condicionamento de esgoto – EPC”. Entretanto, não houve universalização desse serviço para toda a cidade.

Nos anos 2000, a transferência de água entre as bacias do Jaguaribe e metropolitana é reforçada com a construção do Eixão das Águas, cujo trajeto vai do açude Castanhão, situado em Alto Santo, até o Complexo Industrial e Portuário do Pecém-CIPP. Esta obra possui cinco trechos que foram construídos no período de 2004 a 2014.

Na Figura 3 é apresentada uma síntese dos principais marcos da história do abastecimento de água da cidade de Fortaleza no século XX. Nela é possível observar que a cidade passa por um significativo aumento populacional que se adensa, inicialmente na área central, mas que aos poucos a cidade experimenta uma ampliação da sua área urbana para além do centro.

No meio desse processo de expansão urbana, há que se observar que a seca de 1932 teve um impacto significativo nas emigrações do campo-cidade, contribuindo para o aparecimento das primeiras favelas de Fortaleza, dentre elas a do Lagamar em 1933. O aumento populacional e a industrialização impõem a necessidade de busca de água em lugares que extrapolam os limites físicos da cidade. Inicia-se a primeira transferência de água para a Capital, oriunda do Vale do Acarape do Meio, que será posteriormente seguida por tentativas de ampliação da rede de abastecimento até que outra seca (1993) coloca a cidade na iminência de colapso de abastecimento, sendo feito a drenagem de água da região do Jaguaribe via canal do trabalhador.

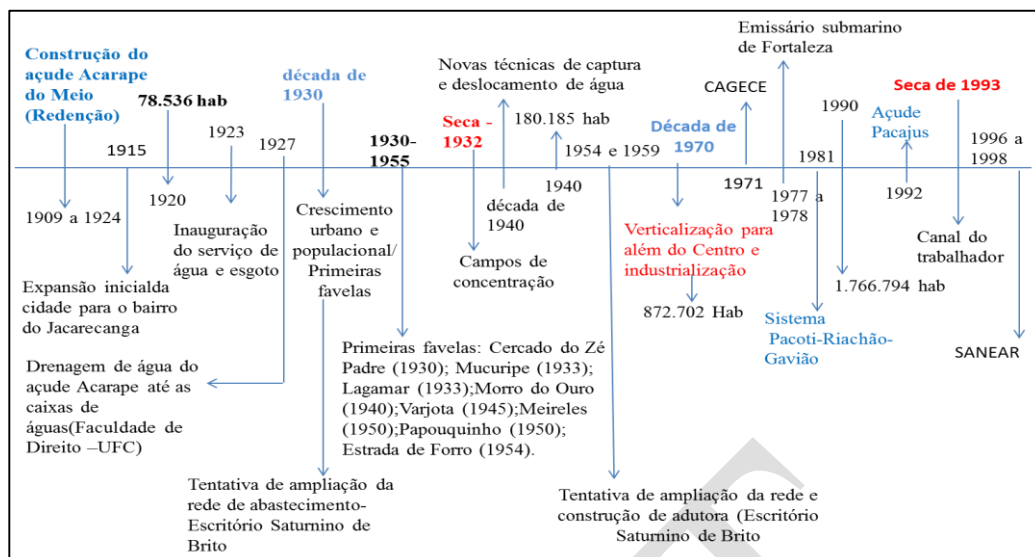


Figura 3. Principais marcos do abastecimento de água de Fortaleza no Século XX

Ao refletir sobre a história do abastecimento da cidade percebe-se que as práticas cotidianas, sejam dos moradores ou poder público, representados por técnicos na área da engenharia civil expressam dilemas, desafios, conhecimentos, mas também “artimanhas de caça não autorizada” como nos fala CERTEAU (1994).

O acesso à água sempre foi perpassado por tensões e conflitos que evidenciam o drama entre o abastecimento e não abastecimento, revelando formas desiguais de uso e acesso. Esta figura como desafio na atualidade em função dos processos industriais e do modo de usos e ocupação do solo urbano que tem implicado no aterramento ou contaminação dos seus mananciais, tornando a cidade historicamente dependente de águas trazidas de lugares que extrapolam seu limite físico, inclusive do próprio estado, haja visto que às águas transferidas da região do Jaguaribe serão somadas as que serão deslocadas do Rio São Francisco. A percepção desta situação de dependência sinaliza para a possibilidade de realização de estudos e busca de alternativas para lidar com a crescente escassez de água em um contexto sustentabilidade social, econômica e ambiental. Esse quadro de possibilidade se desenha com a utilização de técnicas de saneamento básico, reuso e dessalinização da água enquanto elementos que apontam saídas, mas que devem ser pensadas a partir da realidade local para que não se transformem em mero transplante de tecnologia sem considerar as especificidades locais (históricas físicas e sociais).

### 3 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA ATUAL

Nesta seção, será apresentado o balanço hídrico atual do sistema de abastecimento de água bruta de Fortaleza com vistas a avaliar as falhas e garantias desse sistema e, conseqüentemente a segurança hídrica quantitativa.

#### 3.1 Aspectos Gerais

O planejamento dos recursos hídricos no Estado do Ceará tem sido desenvolvido utilizando a bacia hidrográfica como unidade de gestão. Esta unidade corresponde a uma área topograficamente drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'águas que dispõem de uma única saída para toda vazão efluente.

Com base neste conceito, o Ceará foi delimitado em doze regiões hidrográficas (Figura 4): Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Banabuiú, Salgado, Acaraú, Curu, Coreaú, Litoral, Metropolitanas, Sertão de Crateús e Serra da Ibiapaba.

Esta delimitação permite o poder público e a sociedade civil adquirirem maior capacidade de organização e direcionamento de esforços, reconhecimento dos diversos níveis de demandas específicas, formulação de políticas na área de recursos hídricos, além de apoiar a operacionalização dos comitês de bacias hidrográficas, dentre outros.

As Bacias Metropolitanas, onde se situa o município de Fortaleza, abrange uma área de 15.085 km<sup>2</sup> e compreende um conjunto de 16 bacias independentes distribuídas por 31 municípios. Estas bacias possuem clima Tropical Quente Subúmido com média pluviométrica aproximando-se dos 800mm no médio cursos do rio São Gonçalo podendo alcançar 1400mm no litoral (CEARÁ, 2009).

Em sua maioria, elas são litorâneas, de pequeno porte e de pouca representatividade hidrológica, à exceção das bacias do rio São Gonçalo, Pirangi, Choró e Pacoti. Conforme a Revisão do Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas (2010), a primeira tem uma área de 1.332,3 km<sup>2</sup>, forma retangular longilínea, com o rio São Gonçalo se desenvolvendo ao longo de 90,0 km. A Bacia do Rio Pirangi drena uma área de 4.374,1 km<sup>2</sup> e apresenta uma forma retangular alongada. A Bacia do Rio Choró drena uma área de 4750,7 km<sup>2</sup> e possui um formato. A Bacia do Rio Pacoti nasce na Serra de Baturité, drenando uma área de 1.257,5 km<sup>2</sup>. Ela tem uma configuração longilínea com rede de drenagem predominantemente dendrítica.





Figura 4 - Mapa das Regiões Hidrográficas do Estado do Ceará.

Pode-se destacar ainda como coletores principais de drenagem localizados nas bacias Metropolitanas os sistemas Cocó/Coaçu e Ceará/Maranguapinho. O rio Cocó drena uma área de 304,6 km<sup>2</sup> e se desenvolve no sentido sul/norte. Sua confluência com o rio Coaçu, seu principal afluente, se dá bem próximo ao litoral, fazendo que estes praticamente apresentem comportamento de bacias independentes. O rio Ceará drena uma área de 555,9 km<sup>2</sup>, se desenvolvendo no sentido sudoeste-norte ao longo de 52,5 km. O rio Maranguape une-se ao rio Ceará próximo à sua foz, não exercendo muita influência sobre a fluviometria da bacia.

Para efetivar a participação pública nestas bacias, em 2003, foi criado, pelo Decreto Estadual 26.902, o Comitê da Bacia Hidrográfica - Metropolitanas (CBH-Metropolitanas) que é instância colegiada do sistema estadual de gestão dos recursos hídricos com atribuições consultivas e deliberativas. Este CBH encontra-se na sua quarta gestão e é formado por 60 instituições na seguinte composição: 20% de Poder Público Municipal (12 Instituições), 20% de Poder Público Estadual/Federal (12

Instituições), 30% de Sociedade Civil (18 Instituições), 30% de Usuários (18 Instituições).

### 3.2 Oferta superficial

As águas superficiais das Bacias Metropolitanas se caracterizam por apresentarem um volume hidrográfico de pequeno porte e por banharem áreas urbanas. O suprimento de águas superficiais é marcado por uma grande variabilidade espacial e temporal que impõe incerteza no regime hidrológico e um desafio no que concerne o atendimento dos diversos setores usuários de água e o incentivo do crescimento da produção econômica que depende em grande parte deste recurso natural.

A variabilidade climática corresponde às variações no estado médio do clima nas escalas temporais e espaciais além de eventos climáticos individuais (USAID, 2007). A variabilidade temporal pode ocorrer em diversos padrões, como a variabilidade climática decadal, interanual e sazonal e pode gerar impactos significativos nas atividades humanas (ALVES, 2012). Esses padrões podem ser visualizados no regime de chuvas de Fortaleza conforme exposto na Figura 5. Considerando as precipitações do período de 1849 a 2006 tem-se se verifica uma amplitude de variação dos totais anuais entre 468 mm/ano (seca de 1877) e máximo 2.819 mm/ano (em 1985) com coeficiente de variação de 0,35.

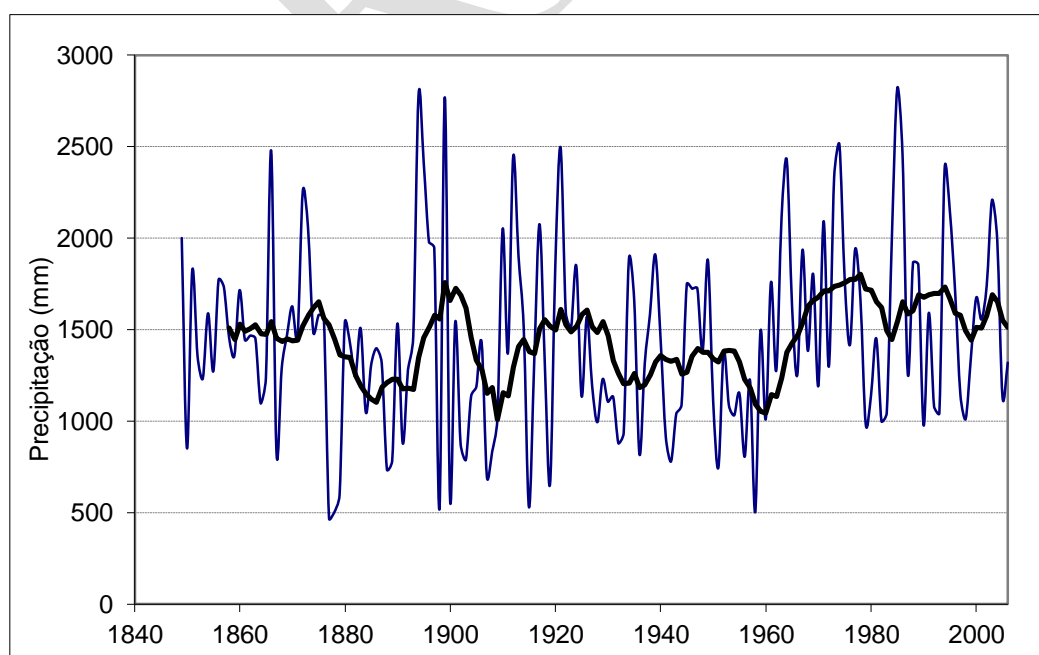


Figura 5. Precipitações de Fortaleza para o período de 1849 a 2006.

O suprimento superficial para abastecimento de Fortaleza é consolidado por oito reservatórios: cinco reservatórios situados na Região Metropolitana de Fortaleza (Gavião, Pacoti-Riachão, Pacajus e Aracoiaba) e três reservatórios na Bacia do Jaguaribe (Orós, Castanhão e Banabuiú) formando o sistema Jaguaribe-Metropolitano (Figura 6), principal sistema de reservatório do estado do Ceará.

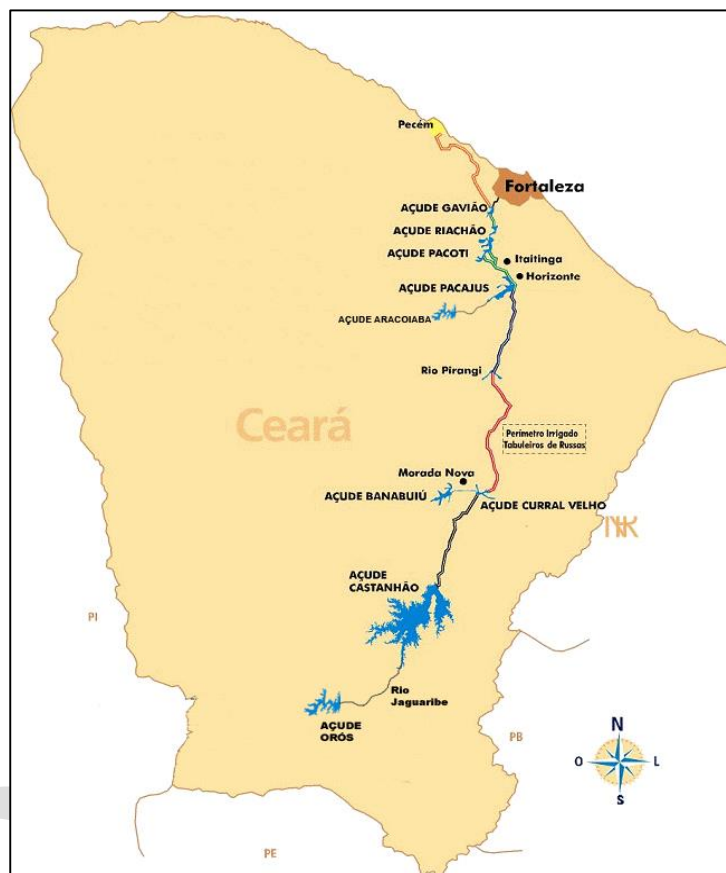


Figura 6 - Localização do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

A porção metropolitana, sistema local, soma uma capacidade de acumulação de 871 hm<sup>3</sup> (Tabela 1). Enquanto que, a porção do Jaguaribe soma uma capacidade de acumulação de 10.241 hm<sup>3</sup> tendo o Orós com 1.940 hm<sup>3</sup>, o Banabuiú com 1.601 hm<sup>3</sup> e o Castanhão com 6.700 hm<sup>3</sup> que descontado o volume de espera de cheia do Castanhão o volume útil deste sistema para os usos urbanos, irrigação e industrial é 8.002 hm<sup>3</sup> sendo que 56% desta capacidade é oriunda deste reservatório.

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 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 a 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 supri demandas até o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), localizado no município de São Gonçalo do Amarante na RMF.

Tabela 1 - Capacidade dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Local de Fortaleza.

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

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.

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.

### 3.3 Oferta subterrânea

Os recursos hídricos superficiais são a principal fonte de abastecimento de Fortaleza, entretanto, as águas subterrâneas são utilizadas de forma estratégica por parte da população em período de escassez hídrica.

Na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF podem-se encontrar quatro domínios hidrogeológicos segundo Cavalcante (1998): Dunas/Paleodunas, Barreiras



60 metros, nível estático oscilando entre 10 e 20 metros, vazão média de 2 e 3 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica inferior a 1,0(m<sup>3</sup>/h)/m. A alimentação se dá pela infiltração pluviométrica, drenagens influentes, lagoas, açudes e contribuição dos sistemas aquíferos sobrepostas. Os exutórios são representados por drenagens efluentes e a evapotranspiração.

As Dunas/Paleodunas delineiam a orla de Fortaleza com largura média de 2,5 km, adentrando um pouco mais ao continente no setor central. É composto por areias pouco consolidadas e extremamente homogêneas, finas a médias, com diâmetro efetivo predominando entre 0,15 a 0,25 mm e espessuras entre 10 - 25 metros. Ocasionalmente ocorrem intercalações de níveis siltico-argilosos a argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos clásticos, e a presença de intercalações de argilas orgânicas, de tonalidades escuras, a exemplo do que existe em Abreulândia e Cocó. Constitui-se o melhor potencial hidrogeológico da área estudada, representando um aquífero livre. Possui como característica básica uma dupla função hidrogeológica, refletida no funcionamento do sistema como aquífero principal e aquífero de transferência do potencial hídrico para unidades sotopostas, a exemplo do Barreiras.

O fluxo das águas subterrâneas das Dunas/Paleodunas se processa, predominantemente, para o mar onde são observadas fontes difusas ao longo da costa, lagoas interdunares e zonas aluvionares. As maiores perdas d'água do aquífero são por consequência da intensa evapotranspiração, associada a um nível estático sub-aflorante. A recarga é eminentemente pluviométrica, salvo exceções causadas por drenagens influentes.

As características hidrodinâmicas médias foram obtidas através de testes de aquíferos e de produção feitos pela COGERH (2000). Estimou-se que a vazão média desse aquífero em Fortaleza é de 6,0m<sup>3</sup>/h, a transmissividade média foi calculada em 6,98 m<sup>2</sup>/h e a espessura saturada média de 7,7m.

O Domínio Barreiras possui uma espessura média entre 40 e 50 metros, representada por intercalações de níveis arenosos a siltico-argilosos que condicionam a diferentes permeabilidades, tanto vertical quanto horizontalmente. Apresenta nível estático entre 8 e 12 metros, espessura média saturada de 15 metros e suas águas são captadas por poços com profundidades entre 40 e 60 metros que cedem vazões de 1,5 a 3,0 m<sup>3</sup>/h.

Constitui-se para a área de estudo um aquífero livre, com características regionais de semi-confinamento em função da predominância de níveis silto-argilosos.

Tem como recarga a precipitação pluviométrica, drenagens influentes que percolam o contexto, lagoas interdunares e o próprio sistema dunas/paleodunas que funciona com dupla função (aquífero e unidade de transferência d'água). Como exutórios tem-se a rede de drenagem efluente, lagoas, a evapotranspiração e o meio cristalino sotoposto, desde que fraturado.

Os Aluviões são aquíferos livres, com espessuras de poucos a até 5 metros, nível estático sub-aflorante. São representados por sedimentos de granulometria muito fina, frequentemente intercalados com níveis argilosos e orgânicos, derivados de uma ação erosiva sobre rochas sedimentares e migração de partículas das zonas de mangue.

Em Fortaleza, as águas subterrâneas desta unidade (aluviões dos rios Cocó e Maranguapinho) estão seriamente comprometidas pela poluição derivada de esgotos domésticos e industriais, não permitindo nenhum tipo de utilização. A recarga provém da precipitação pluviométrica e da contribuição direta da rede de drenagem e do Barreiras. As saídas de água ocorrem por evapotranspiração e pela própria drenagem, em épocas de verão. No inverno, é muito comum as faixas aluvionares serem cobertas por água dos rios, pelo extravasamento destes.

Nesse contexto, pode-se dizer que as características naturais das águas subterrâneas podem ser modificadas por degradação em função de diversos fatores. Gomes (2013) relatou como os fatores mais comuns a má construção de poços, cemitérios, disposição de resíduos (lixões, aterros), tanques de armazenamento de combustíveis (postos de serviço), águas superficiais poluídas e ausência de saneamento básico.

Além do problema de contaminação das águas subterrâneas verifica-se em Fortaleza e nos outros municípios das bacias metropolitanas a dificuldade de obter o verdadeiro potencial dos recursos hídricos subterrâneos. IPECE (2011) destaca que as reservas hídricas subterrâneas das Bacias Metropolitanas são apresentadas em diferentes estudos e projetos com diferentes números, dimensionamento da área e sistemas hidrogeológicos envolvidos.

Vale ressaltar que os volumes hídricos armazenados nos sistemas aquíferos representam as reservas e podem ser avaliadas segundo um ponto de vista natural ou utilitário. Tradicionalmente, estas reservas são classificadas como renováveis (dinâmicas ou reguladoras) e não renováveis (permanentes ou geológicas), sendo as reservas totais a resultante da somatória das duas.

As reservas renováveis constituem o volume hídrico armazenado entre os níveis de flutuação máximo e mínimo dos aquíferos livres, e que participa do ciclo hidrológico em uma escala de tempo anual, interanual ou sazonal estando, desta forma, em constante movimento. As reservas permanentes representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico na escala de tempo plurianual, centenária ou milenar, correspondendo aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação dos aquíferos livres ou dos níveis potenciométricos dos aquíferos confinados. Os recursos exploráveis de água subterrânea são os volumes que podem ser utilizados das reservas naturais, em função das reservas renováveis (Reguladoras) ou dos meios técnico-financeiros de que se disponha, ou seja, da variável de decisão que leva em consideração outros objetivos e fatores limitantes, a exemplo da taxa de renovabilidade natural.

Segundo o IPECE (2011), os principais estudos sobre as reservas hídricas subterrâneas dos municípios inseridos nas bacias metropolitanas, como é o caso de Fortaleza são: Plano Estadual de Recursos Hídricos (CEARÁ, 1992), o Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza (AUMEF, 1984 in CAVALCANTE, 1998), o Plano de Gerenciamento de Águas das Bacias Metropolitanas (CEARÁ/COGERH/ VBA, 2000) e o Pacto das Águas (2009).

No Plano Estadual de Recursos Hídricos (CEARÁ, 1992) foram calculadas as reservas permanentes e exploráveis de águas subterrâneas, sendo que somente para os aluviões foram calculados as reservas isoladamente, função direta de sua ocorrência restrita à bacia. As reservas permanentes representaram  $2.202 \times 10^9 \text{ m}^3$  e as exploráveis  $378 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Para as manchas aluvionares, as reservas permanentes eram de  $87 \times 10^6 \text{ m}^3$  e as exploráveis constituíram  $21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . No Contrato nº 09 PROGERIRH-CE-SRH-98 – PILOTO (CEARÁ/ COGERH/VBA, 1999) procedeu-se os estudos referentes aos “Aspectos Hidrogeológicos da Região Costeira das Bacias Metropolitanas do Estado do Ceará” em  $3.396 \text{ km}^2$ , tendo 20 km de largura e ocupando toda a faixa costeira. Neste contrato também se estimou para a Faixa Costeira das Bacias Metropolitanas estimou-se a existência de 2.500 poços tubulares rasos (vazão média de  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e 2.000 poços tubulares (Vazão média de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

O Plano de Gerenciamento de Águas das Bacias Metropolitanas (CEARÁ/COGERH/ VBA, 2000) trabalhou os Sistemas Dunas e Barreiras como um único sistema hidrogeológico (Dunas/Barreiras) utilizando 4.603 poços, dos quais considerou 2.244 poços com vazão. Os estudos foram focados apenas nas áreas



próximas da Região Metropolitana de Fortaleza, mais precisamente nos trechos de Aquiraz/Pindoretama (216 km<sup>2</sup>) e Pecém/Caucaia (81 km<sup>2</sup>) onde foram calculadas as reservas permanentes (Rp), renováveis (Rr) e exploráveis (Re), sendo elas: Aquiraz/Pindoretama (Rp = 726,3 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>; Rr = 10 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano; Re = 10,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano); Pecém/Caucaia (Rp = 214,2 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>; Rr = 7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano; Re = 10,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano).

No Pacto das Águas (2009) foi utilizado o cadastro de poços com dados até o ano de 2006 com 16.019 poços tubulares e 1.945 escavados que refletiu uma disponibilidade efetiva instalada, bombeando-se 8h/dia, de 92 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /ano, distribuídos da seguinte forma: Domínio Poroso Clástico (6.647 poços) com 72,6 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /ano, Domínio Poroso Aluvionar (26 poços) com 0,7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /ano e Domínio Cristalino Fissural (2.231 poços) com 18,6 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /ano.

No Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza (AUMEF, 1984 in CAVALCANTE, 1998) estimou-se como reservas exploráveis no Sistema Cristalino 0,93 milhões de m<sup>3</sup> /ano; Barreiras 340,8 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /ano e, as DunasPaleodunas com 55 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /ano.

### **3.4 Balanço hídrico do sistema**

Neste item 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.

#### **3.4.1 Descrição do Modelo de Simulação**

A operação e simulação do sistema de abastecimento foram realizadas no modelo Acquanet desenvolvido pelo laboratório de Sistema de Apoio à Decisão da Escola Politécnica da USP (LABSID, 2002). Ele 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.

A rede de abastecimento de água bruta construída para a avaliação da segurança hídrica atual está apresentada na Figura 8. Nesta, os triângulos com contorno azul representam os reservatórios que compõe o sistema Jaguaribe-Metropolitano e os

quadrados de contorno rosa simbolizam as demandas hídricas dos reservatórios (ou trechos).

A operação desta rede e a alocação de água é realizada 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.

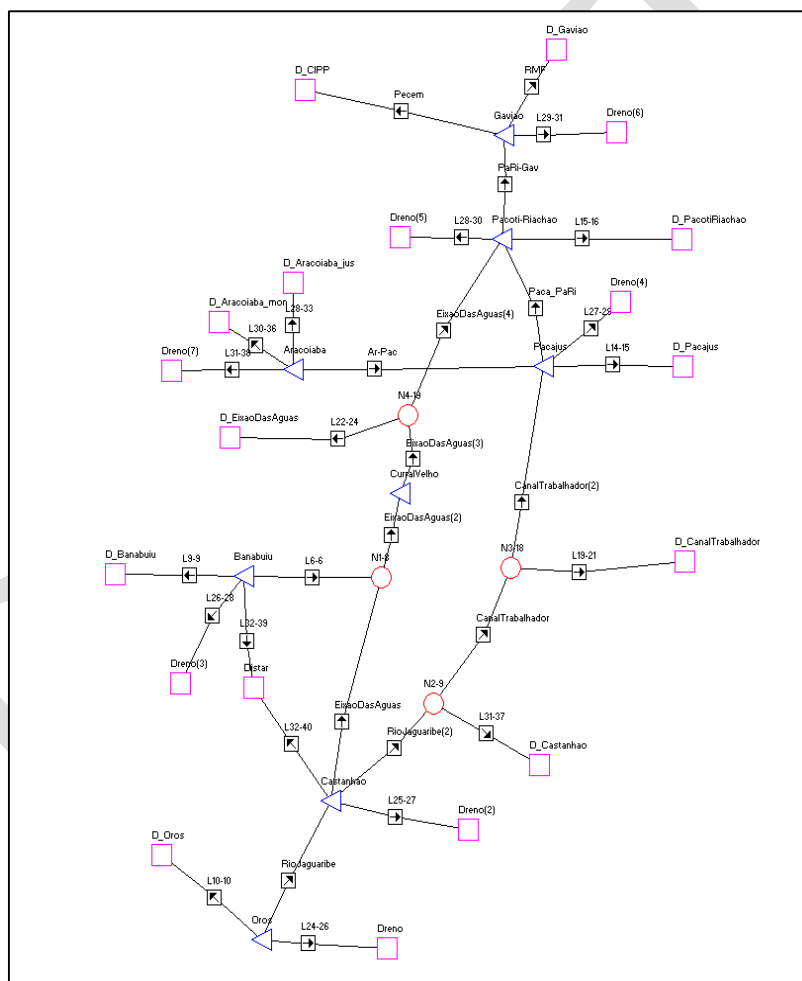


Figura 8. Rede de fluxo da modelagem do sistema de abastecimento de água bruta da região Jaguaribe e Metropolitana de Fortaleza utilizando o software Acquanet

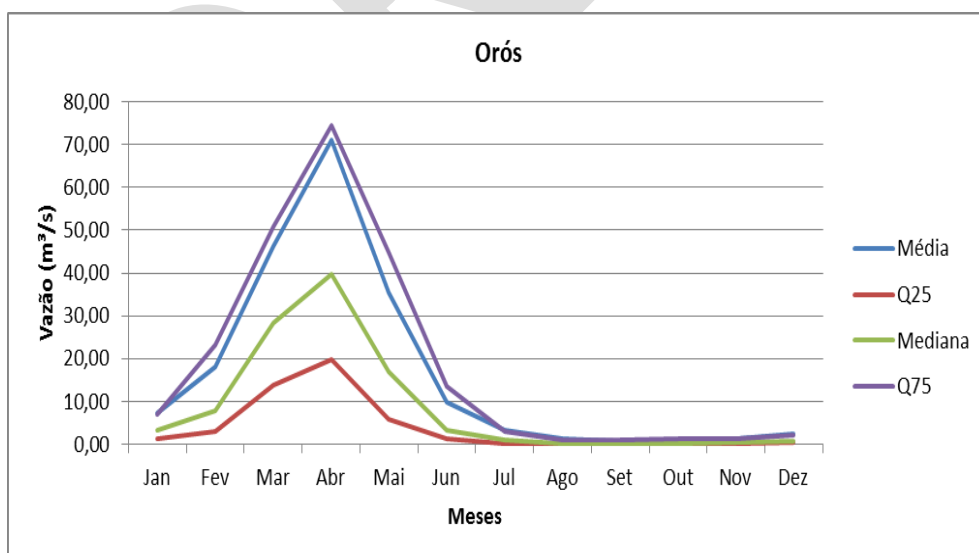
### 3.4.2 Dados do Modelo de Simulação: Oferta hídrica

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.

#### 3.4.2.1 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 9 apresenta a variação sazonal das afluências dos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitano e que foram utilizados neste trabalho. A Figura 10 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.



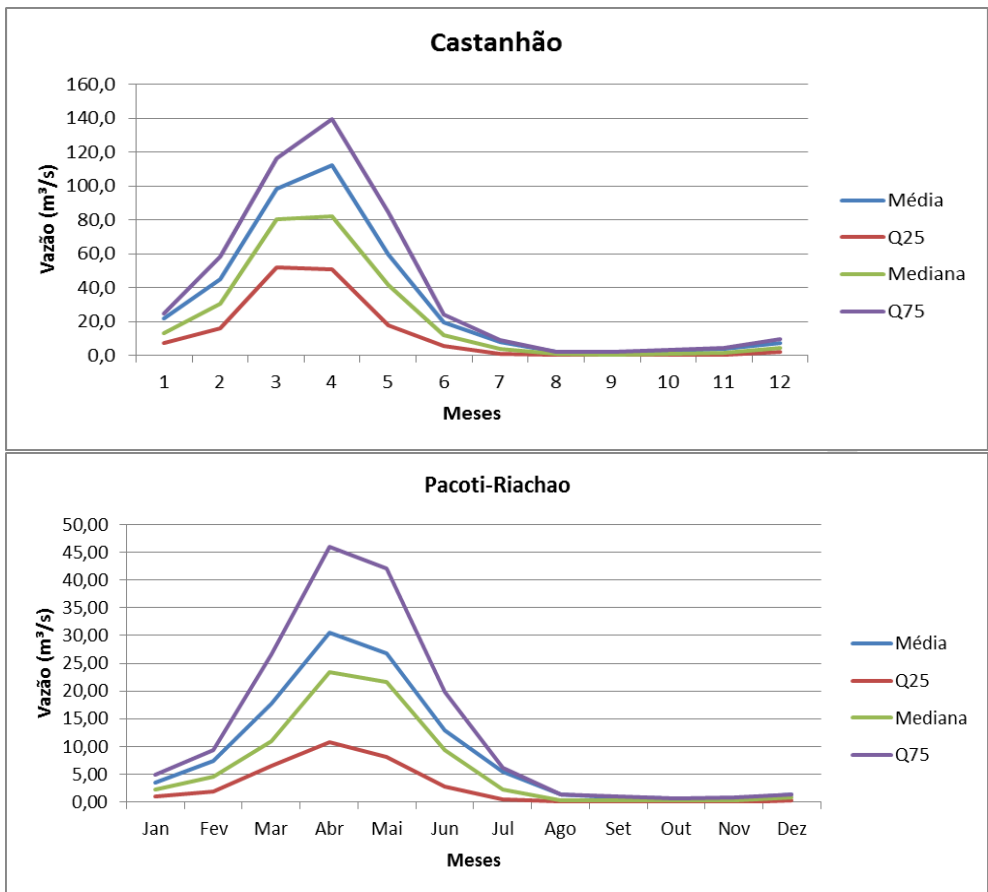
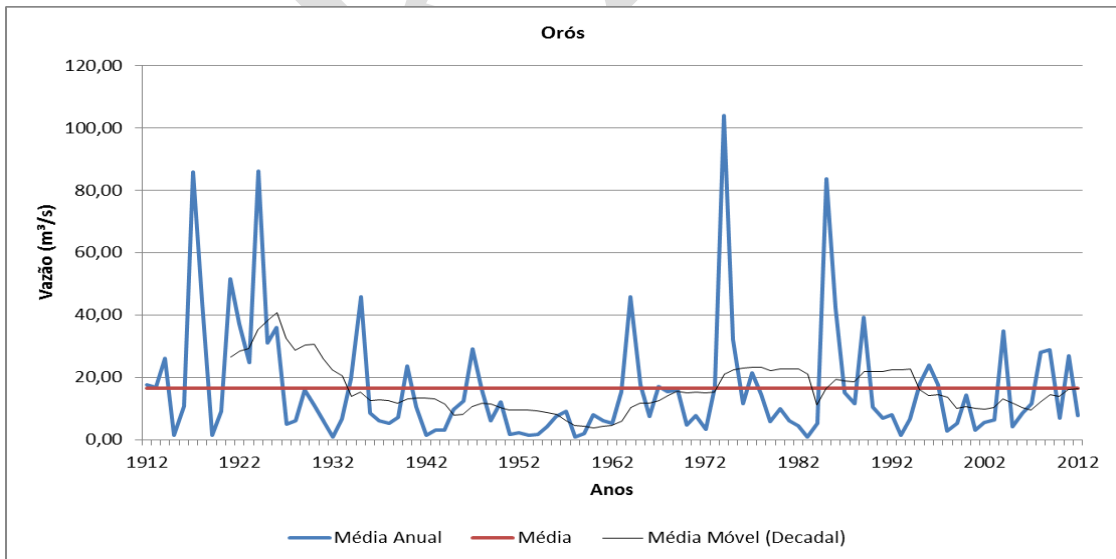


Figura 9 - Variação sazonal das afluições dos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitano, representando a média mensal, a mediana e quartis 25% e 75%: (a)Orós; (b) Castanhão; (c) Pacoti-Riachão.



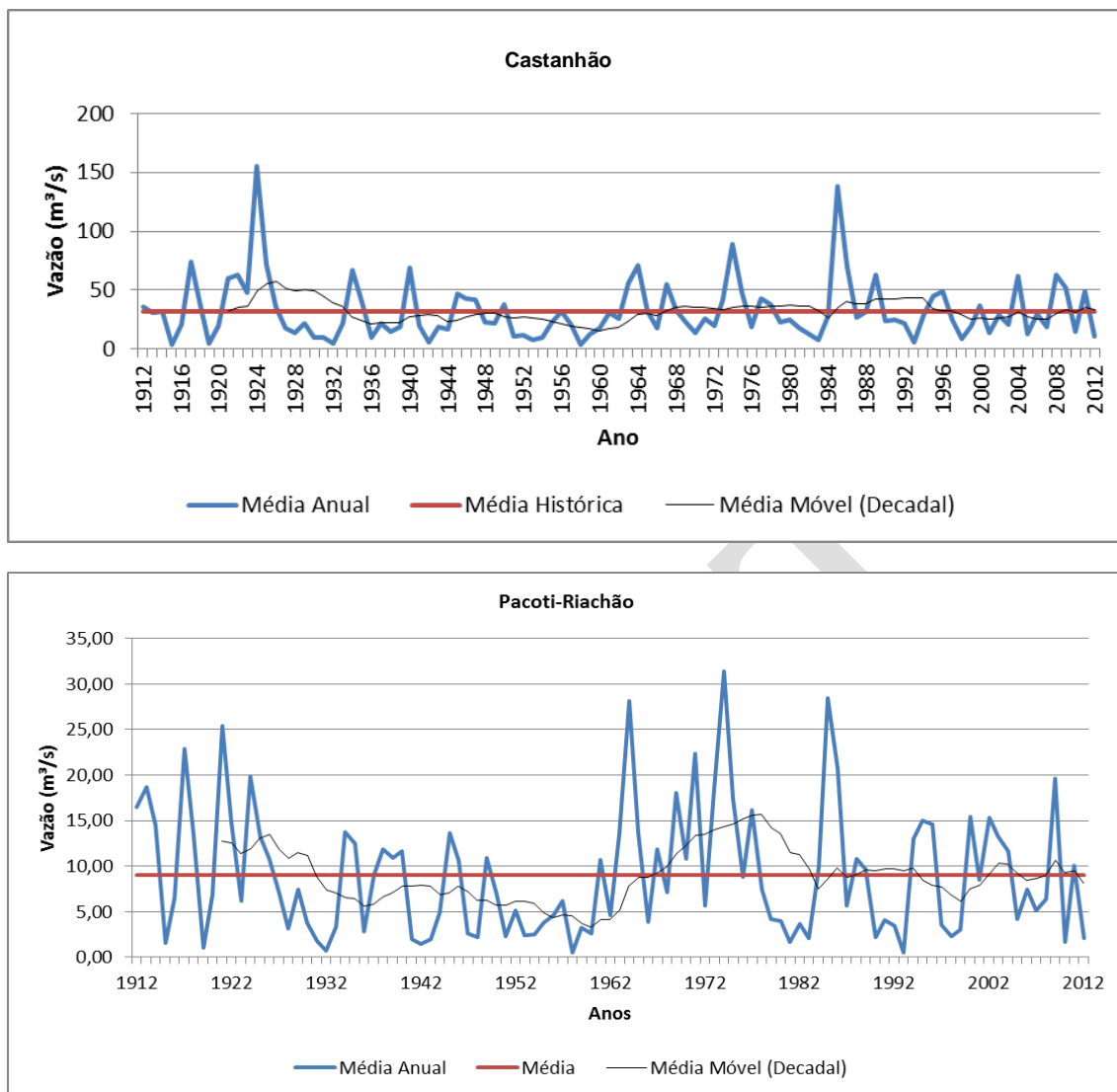


Figura 10 - Vazão média anual afluyente aos reservatórios que compõem o sistema Jaguaribe-Metropolitanono período de 1912 a 2012, média móvel de 10 anos e média da série histórica: (a)Orós; (b) Castanhão; (c) Pacoti-Riachão.

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% do tempo.

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 2 mostra as vazões regularizadas com garantia de 85%, 90% e firme (100%) para os mesmos reservatórios.

Tabela 2 - Vazões regularizadas (m<sup>3</sup>/s) com garantia de 85%, 90% e firme para os reservatórios do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Reservatório	Garantia		
	85%	90%	Firme
Castanhão	29,5	27	16,3
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

#### 3.4.2.2 Taxa de evaporação

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 cálculo destes valores. As séries dos reservatórios são aquelas disponíveis da estação mais próxima ao mesmo (Tabela 3).

Tabela 3 - Evaporação média para os reservatórios do sistema de abastecimento de Fortaleza.

Reservatórios	Estação de Medição	Total Anual (mm)
Aracoiaba	82487	605,9
Banabuiú	82586	1989,0
Castanhão	82588	2283,0
Gavião	82397	1435,0
Orós	82686	1901,0
Pacajus	82397	1435,0
Pacoti-Riachão	82397	1435,0

Fonte: Dados do INMET (1992).

#### 3.4.2.3 Volumes máximos e mínimos

A capacidade de acumulação de cada reservatório é imposta como volume máximo conforme a Tabela 4. O reservatório Castanhão possui a maior capacidade de acumulação dentre os reservatórios do Estado do Ceará, com capacidade de aproximada 6.650 hm<sup>3</sup>. Deste, 2.200 hm<sup>3</sup> são reservados para controle de cheias, restando 4450 hm<sup>3</sup> para os usos conservativos (urbanos, irrigação, industrial) e não conservativos (piscicultura).

Tabela 4 - Volumes característicos do sistema de abastecimento de Fortaleza.

Reservatório	Volume Máximo (hm <sup>3</sup> )	Volume mínimo (hm <sup>3</sup> )
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 4. Estes volumes constituem estoque de água, também denominados de volume morto, recebendo esta denominação por estarem estocados abaixo da cota de tomada d'água do reservatório.

### 3.4.3 Dados do Modelo de Simulação: 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 11).

O sistema Jaguaribe-Metropolitano possui uma demanda total de 43,19 m<sup>3</sup>/s. Deste total, 69% estão concentradas na bacia do Jaguaribe e 31% 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.

Os usos da água na RMF são 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  $1,44\text{m}^3/\text{s}$ . Para Fortaleza foi considerado o volume demandado pelas Estações de Tratamento de Água (ETA Gavião e ETA Oeste).

As Eta's fazem parte do Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza. A implantação ou ampliação desse tipo de sistemas 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).

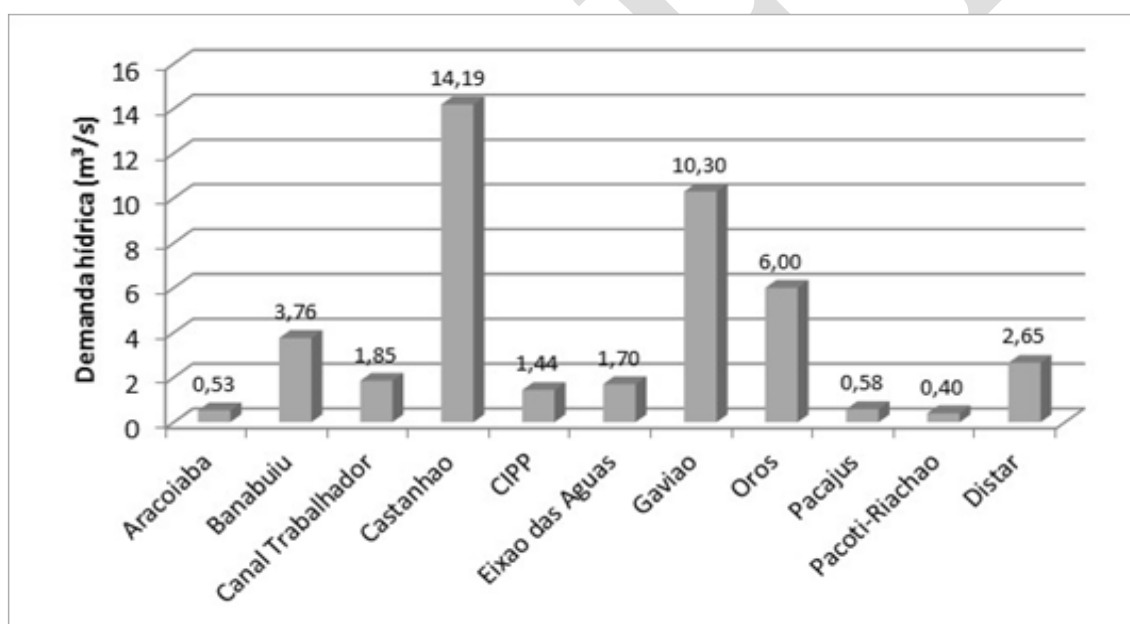


Figura 11. Demandas hídricas do sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Fonte: Informações concedidas pela COGERH em janeiro de 2015.

#### 3.4.4 Simulação do 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 mínimos necessários para o bombeamento das águas estocadas, conforme apresentado na Figura 12. Nesta figura, cabe destacar a limitação do transporte de água bruta pelo Eixão das Águas, com capacidade máxima atual de  $9\text{m}^3/\text{s}$  e do canal do Trabalhador com  $3\text{m}^3/\text{s}$ . Além destas, destacamos, também, o volume mínimo



operacional do reservatório Pacoti-Riachão na cota 36,16m, correspondendo a aproximadamente 25% do seu volume total de acumulação. 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 20m<sup>3</sup>/s.

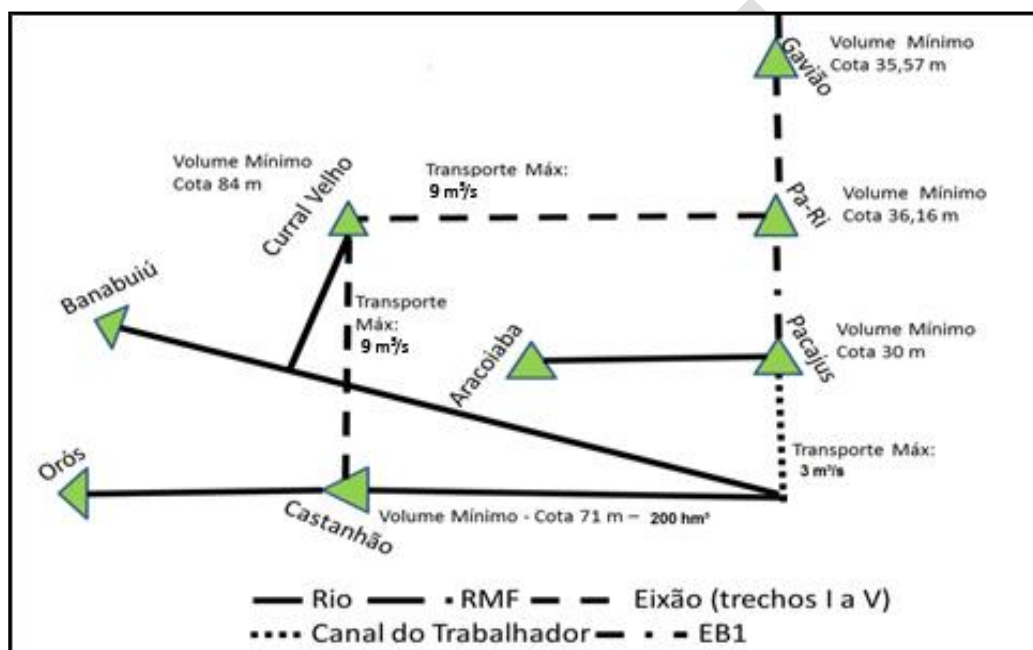


Figura 12 - Restrições físicas e operacionais do sistema de abastecimento de Fortaleza.

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

#### 3.4.4.1 Simulação 1

A simulação 1 foi realizada incorporando as características atuais do sistema, tendo o eixão das águas capacidade máxima de transporte de 9m<sup>3</sup>/s. A Figura 13 demonstra o comportamento da operação do reservatório Castanhão. Observa-se que em 29,2% do tempo o reservatório Castanhão tem seu estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima, atingindo o volume mínimo operacional de 220 hm<sup>3</sup> em 11% do período simulado. 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 6,52% dos meses do período simulado.

O reservatório Orós apresentou as características mostradas na Figura 14. Esse reservatório, além de atender às demandas locais, pode funcionar como reservatório estratégico utilizado quando o nível do Castanhão está baixo. No entanto, a simulação realizada mostrou que este reservatório atende somente as demandas da sua bacia hidrográfica, apresentando falha em 14% do período simulado.

Na Região Metropolitana Fortaleza, o reservatório Pacoti-Riachão funciona como o principal reservatório de regularização da região, devido, entre outros fatores, a sua capacidade de acumulação e o recebimento da maior vazão transferida da região do Jaguaribe. A Figura 15 mostra a operação deste reservatório no período simulado. Nesta operação, utilizou-se o gatilho de transferência da região do Jaguaribe para a RMF quando este reservatório atinge a metade de sua capacidade máxima de acumulação. As simulações indicam que este reservatório atinge seu volume mínimo operacional em 1,6% do tempo aproximadamente, impondo déficit de atendimento das demandas de Fortaleza e do CIPP em 3% do tempo, aproximadamente (Figura 16). A severidade desta falha apresenta uma vazão máxima de 6 m<sup>3</sup>/s para Fortaleza e 1,44m<sup>3</sup>/s para o CIPP.

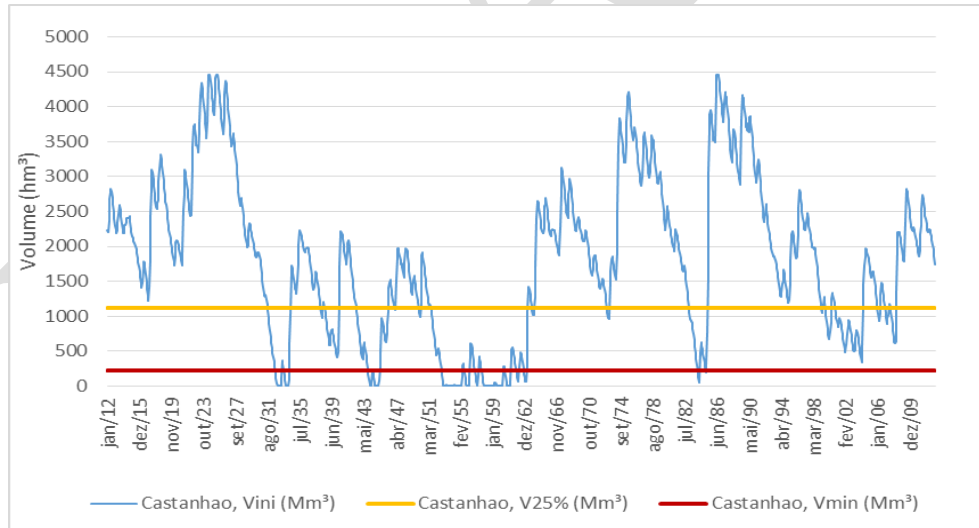


Figura 13 - Simulação da operação do reservatório Castanhão, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais.

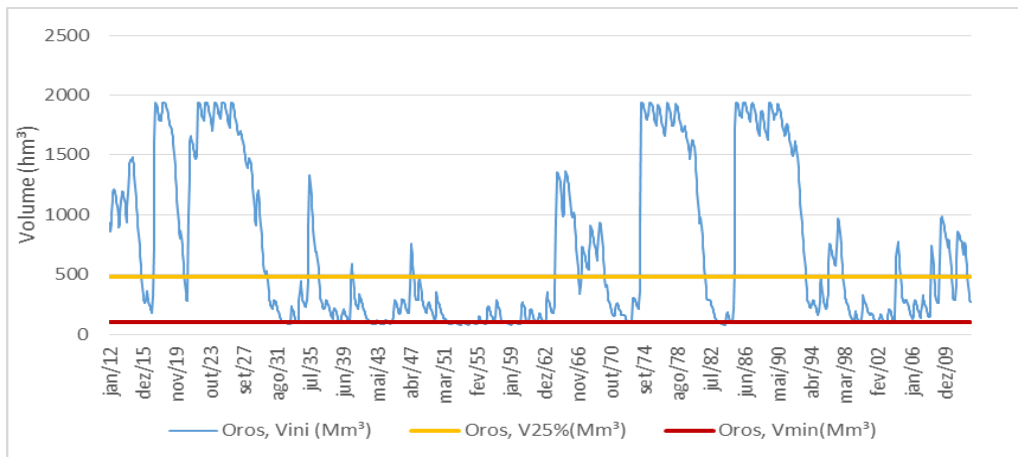


Figura 14 - Simulação da operação do reservatório Orós, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais.

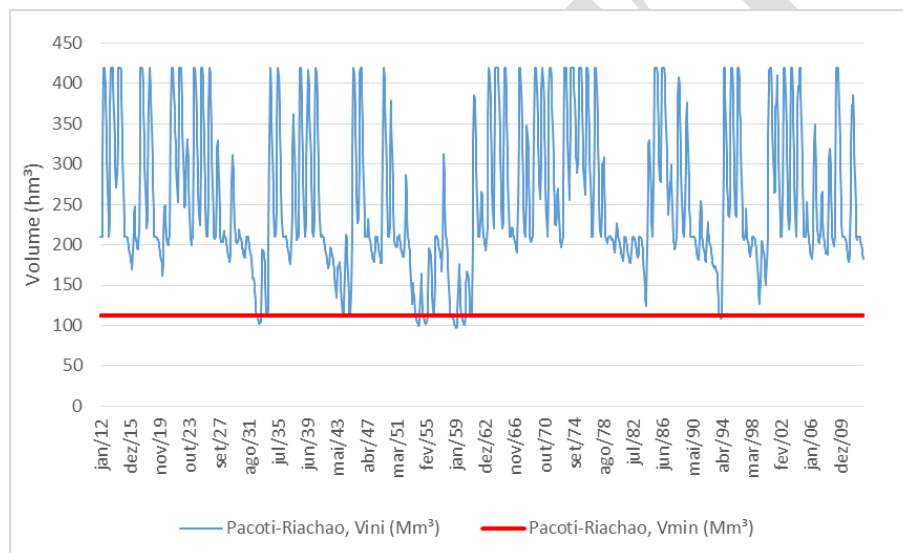


Figura 15 - Simulação da operação do reservatório Pacoti-Riachão, com vazões históricas de 1912-2012 e demandas atuais.

A Figura 17 apresenta o resultado da operação dos sistemas Jaguaribe e Metropolitano de forma agregada. Esta figura foi construída somando-se as acumulações mensais dos reservatórios pertencentes a cada um dos sistemas. Nela é possível observar os períodos críticos de secas em que estes sistemas estão expostos, destacando-se a década de 1954 a 1963, quando, na simulação, o sistema Jaguaribe enfrentou seu maior período de seca. Esta simulação indica que secas um pouco mais prolongadas ou mais intensas, passíveis de ocorrer, levariam ao colapso total do sistema.

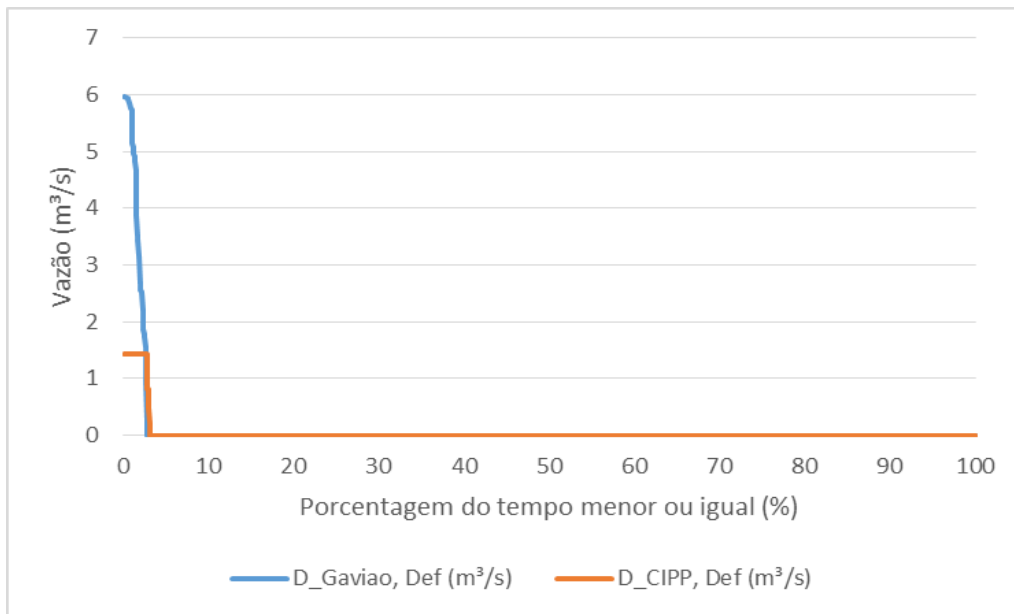


Figura 16 - Curva de permanência dos déficits de atendimento das demandas de Fortaleza (D\_Gavião) e CIPP (D\_CIPP).

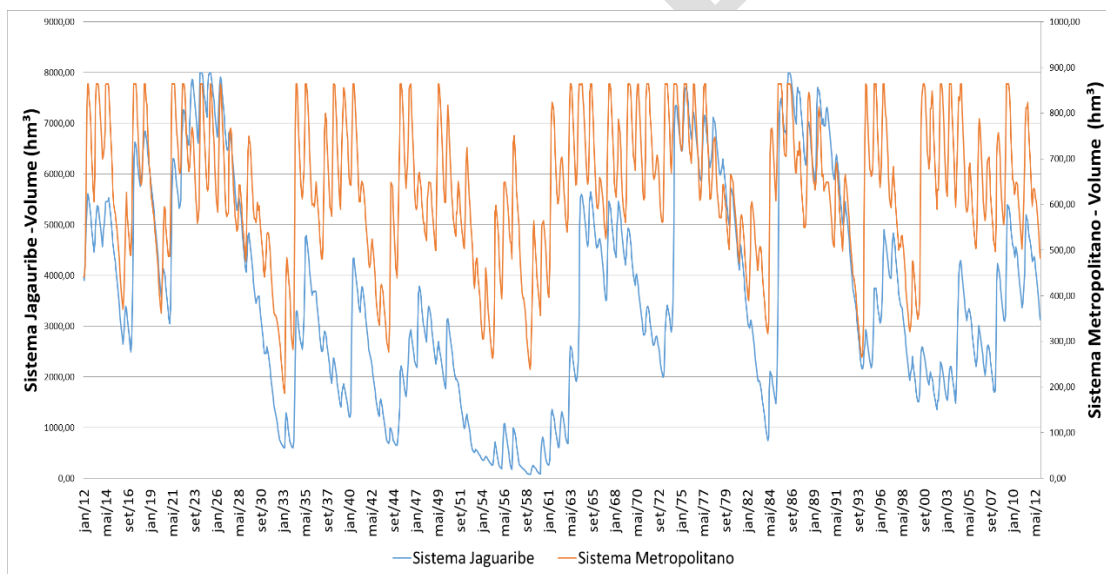


Figura 17 – Acumulação dos sistemas Jaguaribe e Metropolitano, para o período de 1912-2012 e demandas atuais.

### 3.4.4.2 Simulação 2

A capacidade máxima de transporte do eixão das águas foi ampliada para 20m³/s para a realização da simulação 2. A Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21 apresentam a acumulação mensal dos reservatórios Castanhão, Orós, Pacoti-Riachão e sistema agregado Jaguaribe-Metropolitano, respectivamente, para a nova simulação.

Em síntese, os reservatórios da região do Jaguaribe tiveram estoques de água ainda mais baixos que na simulação anterior, pois a ampliação da capacidade de transporte do eixão permitiu maior transferência de água entre as bacias nos períodos de estiagem da RMF. A ampliação do eixão das águas possibilitou uma diminuição da vulnerabilidade total da RMF em detrimento da maior falha gerada na região do Jaguaribe. Na Figura 22 observa-se a curva de permanência das falhas de Fortaleza e CIPP, indicando uma severidade máxima de 6 m<sup>3</sup>/s e 1,44m<sup>3</sup>/s para Fortaleza e CIPP, respectivamente.

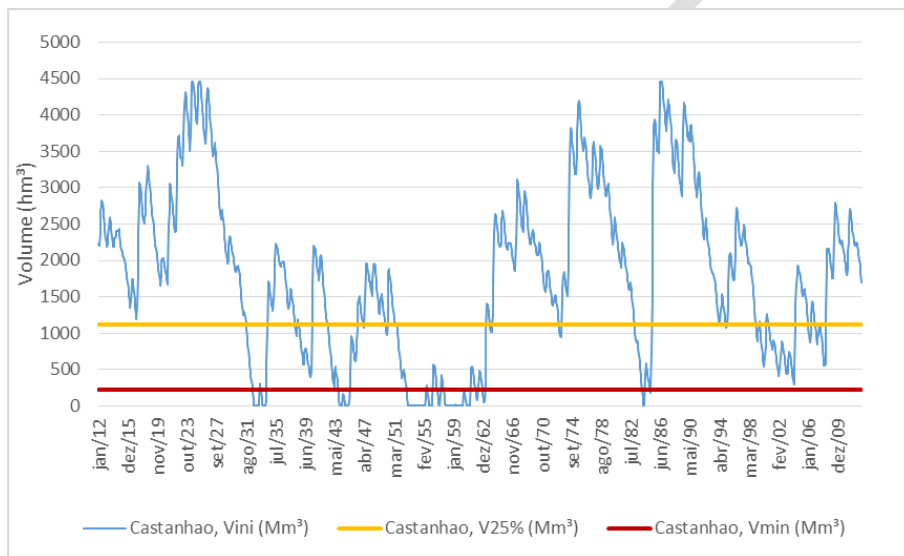


Figura 18 - Simulação da operação do reservatório Castanhão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas atuais e capacidade máxima de transporte do eixão de 20 m<sup>3</sup>/s.

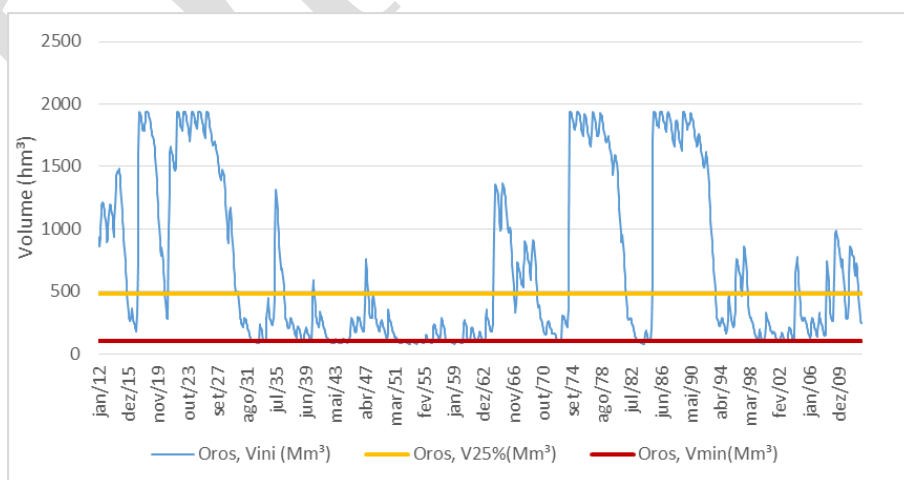


Figura 19 - Simulação da operação do reservatório Orós, com vazões históricas de 1912-2012, demandas atuais e capacidade máxima de transporte do eixão de 20 m<sup>3</sup>/s

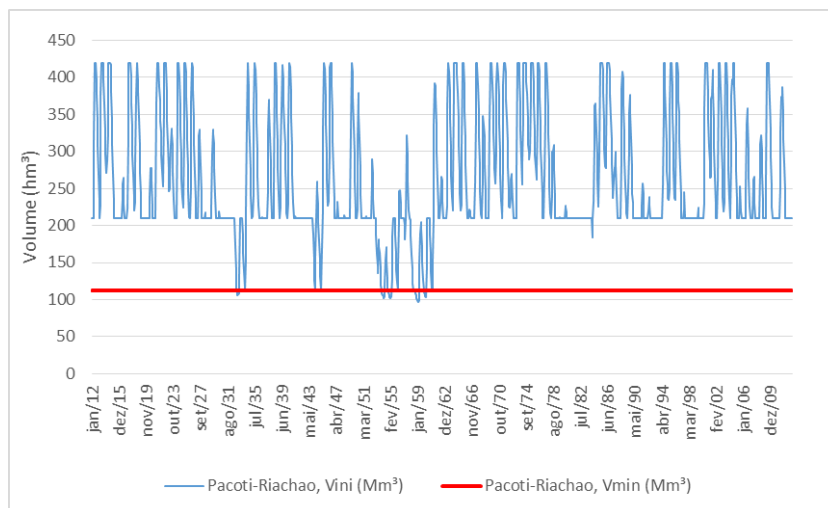


Figura 20 - Simulação da operação do reservatório Pacoti-Riachão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas atuais e capacidade máxima de transporte do eixão de 20 m<sup>3</sup>/s

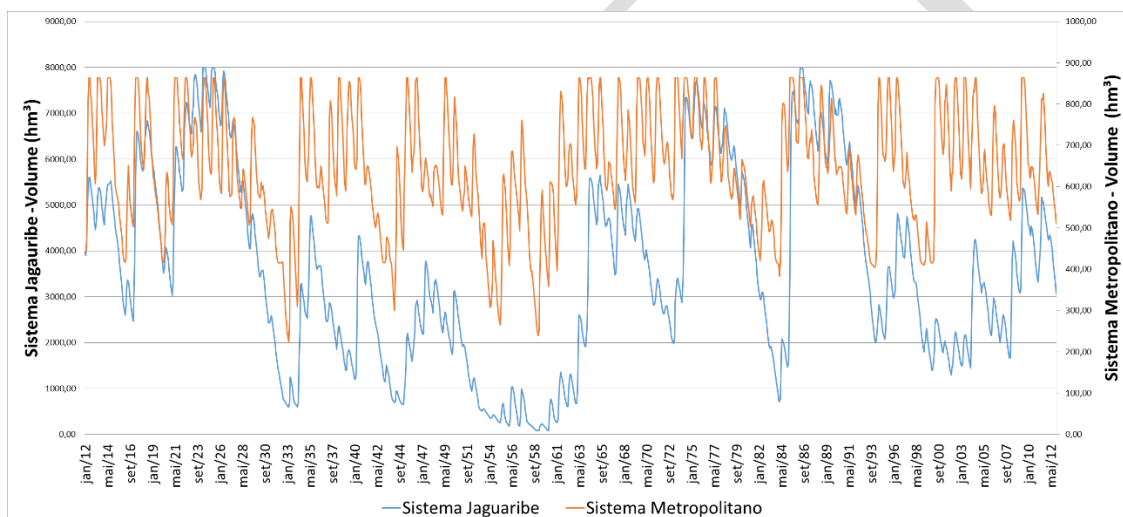


Figura 21 - Acumulação dos sistemas Jaguaribe e Metropolitano, para o período de 1912-2012, demandas atuais e capacidade máxima de transporte do eixão de 20 m<sup>3</sup>/s

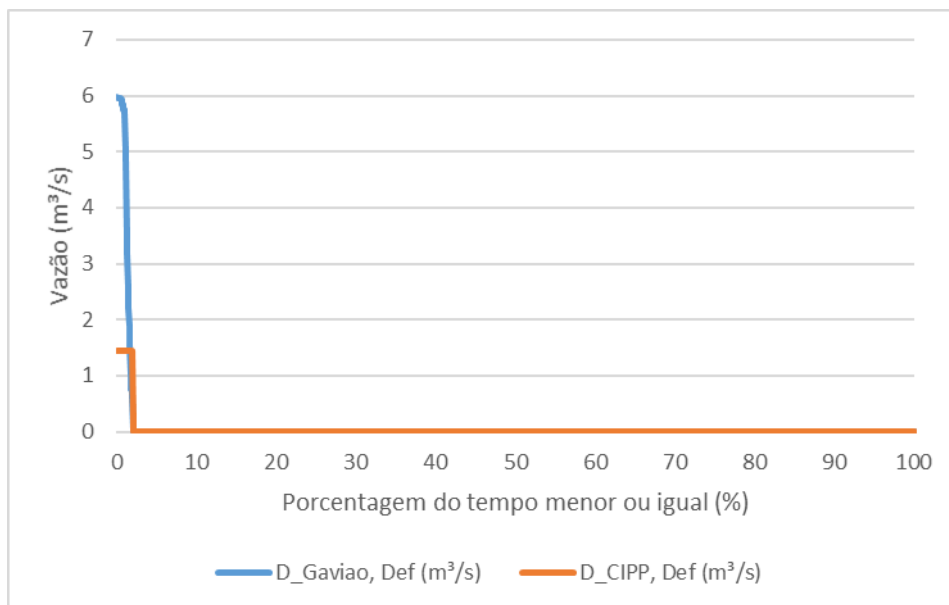


Figura 22 - Curva de permanência dos déficits de atendimento das demandas de Fortaleza (D\_Gavião) e CIPP (D\_CIPP), para a simulação 2.

A Tabela 5 apresenta a variação percentual das frequências das falhas entre as simulações 1 e 2. A ampliação do eixão das águas possibilitou uma diminuição de 20% no tempo de falhas para as demandas do reservatório Gavião, incluindo Fortaleza, ocasionando um aumento das falhas do reservatório Castanhão em 12%

Tabela 5 - Variação percentual da frequência de falhas entre as simulações 1 e 2

Frequência de tempo com falhas (%)	Simulação 1	Simulação 2	Variação percentual entre as simulações
Orós	13,78	13,86	1%
Castanhão	5,69	6,35	12%
Banabuiú	0,33	0,33	0%
Distar	0,41	0,41	0%
Canal Trabalhador	5,94	6,52	10%
Eixão Das Águas	4,87	4,29	-12%
Aracoiaba	0	0	0%
Pacajús	0	0	0%
Pacoti-Riachão	0,74	0,66	-11%
Gavião	2,56	2,06	-20%
CIPP	2,81	2,15	-23%

## 4 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA FUTURA

Para avaliar a disponibilidade hídrica futura, a operação dos reservatórios do sistema Jaguaribe-Metropolitano foi realizado considerando o aporte de água do Eixo Norte da transposição do rio São Francisco.

### 4.1 Sistema São Francisco- Jaguaribe-Metropolitano

A transposição para as bacias do Nordeste Setentrional será realizada por um conjunto de canais, adutoras, túneis, aquedutos, reservatórios, usinas hidrelétricas, estações elevatórias e outras estruturas hidráulicas reunidas no denominado Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional - PISF (Figura 23) que está sob a responsabilidade do Ministério da Integração Nacional – MI.

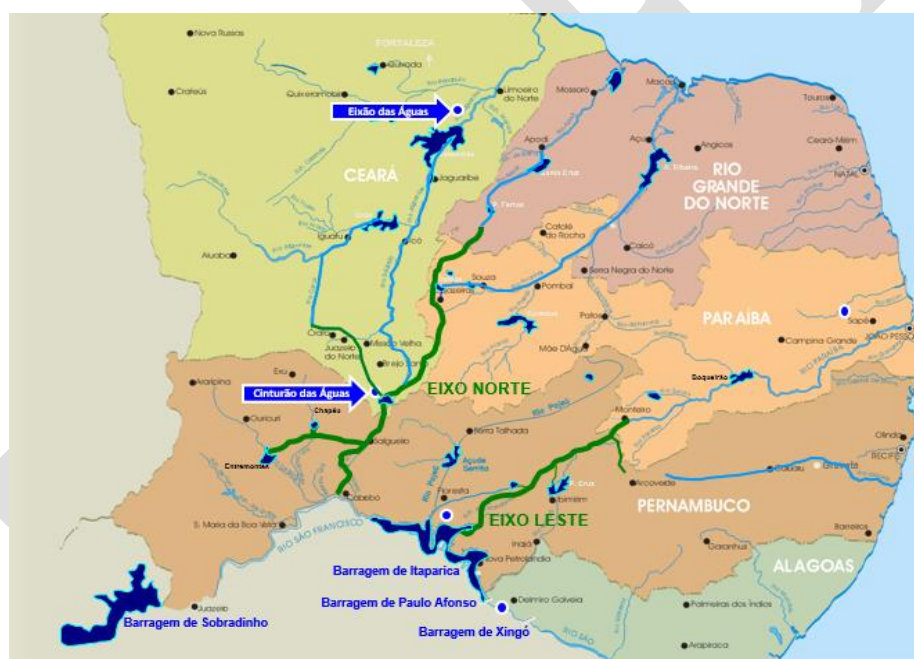


Figura 23. Descrição sumária do PISF e sua localização entre as sub-bacias do rio São Francisco e as bacias do Nordeste Setentrional.

Fonte: Adaptado da ANA (2010).

O PISF prevê as tomadas d'água a jusante do reservatório da UHE Sobradinho, cujo volume útil é de 28 milhões de m<sup>3</sup>, o que permite vazão regularizada de 1.850 m<sup>3</sup>/s. A UHE Sobradinho tem como restrição ambiental uma descarga mínima de 1.300 m<sup>3</sup>/s, adicionada aos usos consuntivos no trecho a jusante. Ele possui dois trechos principais, o Eixo Norte e o Eixo Leste. O primeiro tem capacidade nominal prevista de 99 m<sup>3</sup>/s e o





planeta. Este fato não se reproduz quando avaliada as precipitações produzidas pelos diferentes modelos. Havendo neste caso discrepância não apenas na intensidade da mudança como na direção da mudança. Este fato amplifica-se quando se analisam as vazões.

Estudos anteriores mostram que os modelos de mudança climática são razoáveis na representação dos modos de variação do clima no Século XX, sendo, pois, críveis os seus comportamentos para o Século XXI. Isto é, os modelos de mudança com algumas poucas exceções traduzem futuros possíveis. Desta forma, não considerar estes futuros possíveis no gerenciamento de recursos hídricos é desconsiderar as incertezas associadas ao clima futuro e conseqüente as variáveis de oferta (ex. vazões) e demanda (evapotranspiração, temperatura) associada ao clima. Desconsiderar as incertezas pode nos levar a investirmos em ações que se mostrarão inadequadas no futuro e associadas a alto nível de arrependimento.

Para avaliar este futuro possível, a simulação do sistema Jaguaribe-Metropolitano foi realizada utilizando vazões afluentes estimadas a partir de dados de temperatura e precipitação disponíveis no projeto CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project). Esses dados são oriundos das projeções de modelos climáticos globais sob os cenários de forçante radioativa (Representative Concentration Pathways - RCPs) empregada no Relatório de Avaliação 5 (AR5) do Painel intergovernamental em Mudanças Climáticas.

Os RCPs são conjuntos consistentes de projeções dos componentes da forçante radiativa (a mudança no equilíbrio entre a radiação de entrada e saída para a atmosfera causada principalmente por alterações na composição atmosférica) que se destinam a servir como entrada para a modelagem climática. Ou seja, não são cenários integrados que incluem projeções socioeconômicas, de emissões e climáticas. O fato central nesta nova tipologia é que qualquer caminho (RCP) pode resultar de um espectro amplo de cenários de desenvolvimento socioeconômico e tecnológico.

Eles representam uma medida das emissões de gases estufa em Watts/m<sup>2</sup> e são descritos conforme a Figura 25 e Tabela 6.

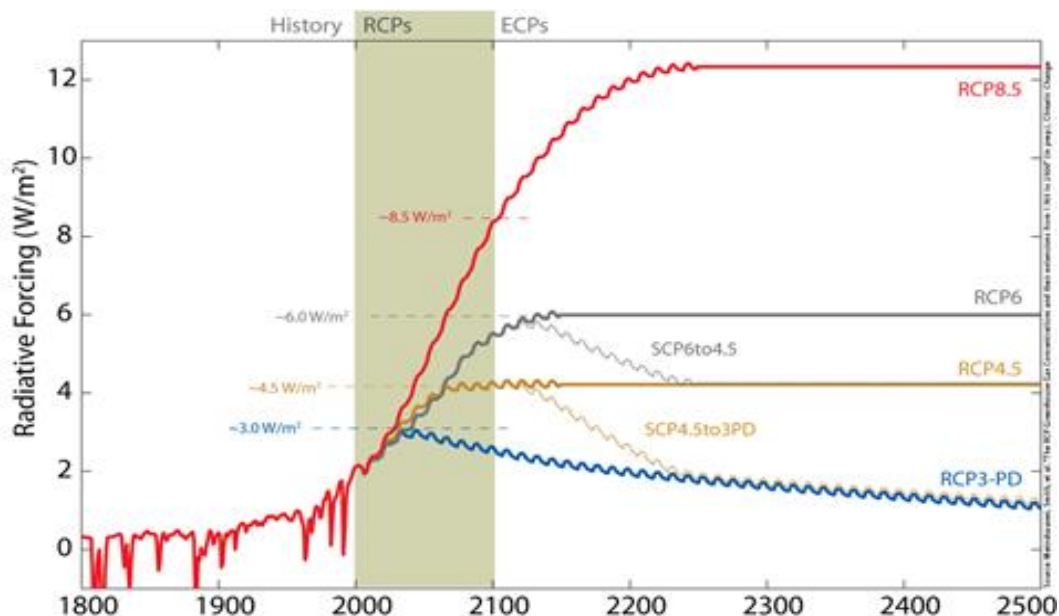


Figura 25. Cenários do IPCC-AR e forçantes radioativas antropogênicas global.  
 Fonte: Meinshausen, *et al.*, 2011.

Tabela 6. Sumário dos Caminhos da Forçante Radioativa.

CENÁRIO	Descrição
<b>RCP 8,5</b>	Caminho crescente da força radioativa levando a 8,5 W/m <sup>2</sup> em 2100.
<b>RCP 6,0</b>	Estabilização em 6 W/m <sup>2</sup> após 2100
<b>RCP 4,5</b>	Estabilização em 4,5 W/m <sup>2</sup> após 2100
<b>RCP 3,0 PD2</b>	Pico na forçante radiativa em ~ 3 W / m <sup>2</sup> antes de 2100 e declínio

Fonte: Moss *et al.*, 2008.

Neste estudo utilizaram-se os dados de vazões futuras produzidos no trabalho de Silveira (2014) para a região do Jaguaribe e Região Metropolitana de Fortaleza. Os modelos climáticos globais considerados foram o BCC-CSM1.1, HadGEM2-AO e MIROC5 para o cenário de forçante radioativa 4.5.

Segundo Silveira (2014), para o período de 2010 a 2049, o modelo HadGEM2-AO apresentou uma redução em torno de 40% a 60% para as bacias do Jaguaribe e RMF em relação ao século XX (1950-1999). O modelo BCC-CSM1.1 apresentou um aumento das vazões 5% a 25%, enquanto o modelo MIROC5 apresentou também variação entre -2% (redução) e 10% (aumento) em relação ao mesmo século XX (1950-1999). A Figura 26 mostra essa variação dos modelos analisados por Silveira.

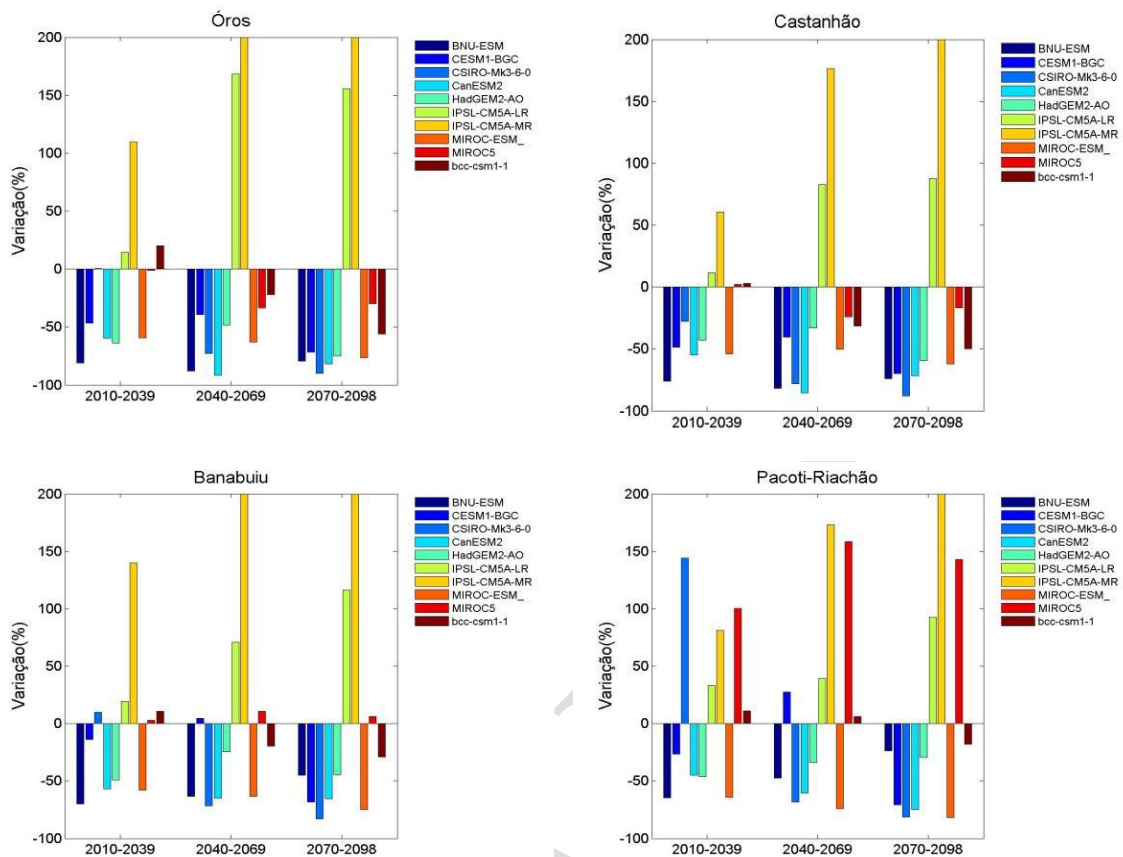


Figura 26 - Variação percentual na média anual de vazões no século XXI para os modelos do CMIP5 para o cenário RCP4.5 para: (a) Óros , (b) Castanhão, (c) Banabuiu e (d) Pacoti-Riachão.  
 Fonte: SILVEIRA (2014.)

### 4.3 Cenário de Demanda

A definição dos cenários de demanda hídrica futura constitui uma etapa importante na simulação da operação de um sistema de reservatórios. Diante das incertezas associadas nesta etapa do trabalho, optou-se pela construção de possíveis cenários de demandas para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e Região do Jaguaribe.

Para a RMF, utilizaram-se dois possíveis cenários de crescimento:

- 1) Em reunião com a coordenação do Projeto Fortaleza 2040, levantaram-se algumas hipóteses a respeito do crescimento de Fortaleza. Dentre as hipóteses, três fatores mostraram-se favoráveis para o crescimento da população: saldo migratório positivo, redução da mortalidade infantil e redução da mortalidade por causas externas (redução significativa de homicídios). Todos esses fatores combinados levariam Fortaleza passar de 2,5

milhões de habitantes em 2012 para 3,14 milhões em 2040. Um crescimento de, aproximadamente, 26%. Esta mesma taxa de crescimento foi incorporada ao valor de demanda atual do sistema, construindo um primeiro cenário de demanda futura para a RMF.

- 2) O segundo cenário para a RMF incorporou a incerteza quanto ao consumo *per capita* de água pela população. Adotou-se, além do crescimento populacional, o crescimento da demanda *per capita* em 20% da demanda atual.

Para a região do Jaguaribe, três cenários de demandas foram levantados:

- 1) As demandas da Região do Jaguaribe em 2040 permaneceriam constantes, iguais às utilizadas na atualidade.
- 2) Crescimento a uma taxa de 1% a.a (28% no acumulado total) das demandas desta região.
- 3) Utilização do cenário de crescimento proposto por ANA (2005a) para o ano de 2025, adotando-o como o valor estimado para 2040.

Estes cenários foram combinados e agrupados no Quadro 1 para a construção dos diferentes cenários de demandas.

Quadro 1 - Construção dos cenários de demandas para elaboração das simulações da operação do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

		<b>JAGUARIBE</b>		
		Demanda Atual	Crescimento da demanda em 28% em 2040	Crescimento da demanda segundo ANA (2005a)
<b>FORTALEZA</b>	Crescimento populacional de 26% em 2040	<b>dFJ 1.1</b>	<b>dF.J 1.2</b>	<b>dFJ 1.3</b>
	Crescimento populacional de 26% e crescimento do consumo per-capita de 20 % em 2040	<b>dFJ 2.1</b>	<b>dF.J 2.2</b>	<b>dFJ 2.3</b>

Destes cenários construídos, optou-se por simular os cenários dF.J 1.1, dFJ 1.2, dFJ 1.3 e dFJ 2.2 apresentados na Figura 27.

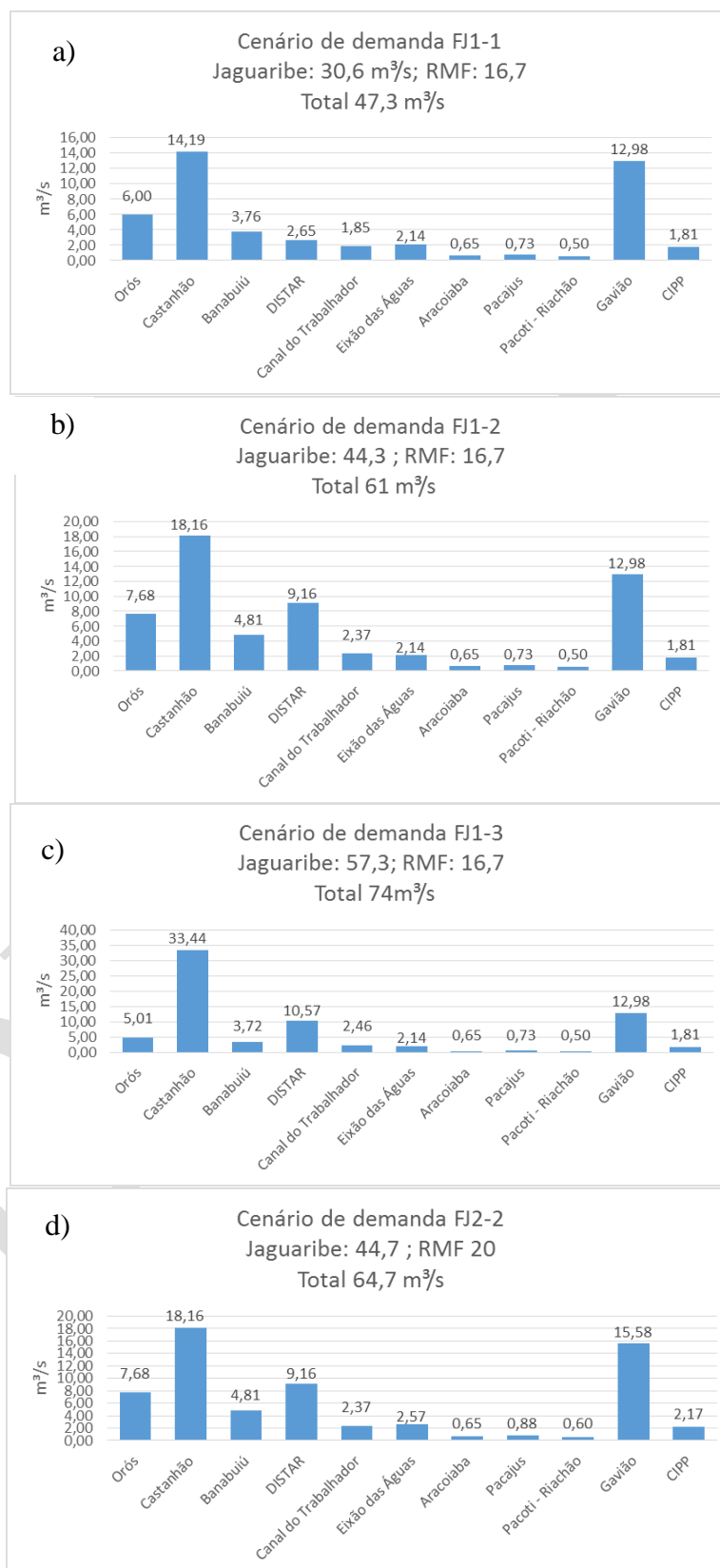


Figura 27 – Cenários de demandas futuras utilizadas nas simulações: (a) dFJ 1.1 (b) dFJ1.2, (c) dFJ 1.3 e (d) dFJ 2.2

#### 4.4 Balanço hídrico do sistema

Os principais resultados das simulações com cenários futuros para o sistema Jaguaribe – Metropolitano serão apresentados nesta seção. Estes resultados demonstram o comportamento dos reservatórios sujeitos aos cenários de demandas apresentados anteriormente, utilizando a série histórica de vazões atuais e futuras. Este modelo de simulação visa observar os níveis críticos dos reservatórios, bem como as falhas e os riscos associadas ao abastecimento de Fortaleza.

As simulações futuras incorporaram algumas suposições relacionadas a demandas e vazões futuras, bem como a modificação da estrutura operacional da rede de abastecimento. Diante dessas incertezas, optou-se por realizar as simulações futuras combinando-se alguns cenários de vazões e demandas, apresentadas no Quadro 2.

No cenário de vazões, optou-se por simular o sistema recebendo água da transposição do rio São Francisco com capacidade máxima de 10 m<sup>3</sup>/s e 20 m<sup>3</sup>/s. Além desses, utilizou-se modelos de circulação global para prever vazões futuras associadas aos cenários de mudanças climáticas. O cenário de demandas foi apresentado da seção Cenário de Demanda.

Quadro 2 - Combinação dos cenários de demandas e vazões para a simulação do sistema Jaguaribe-Metropolitano

		Demandas			
		dFJ 1.1	dFJ 1.2	dFJ1.3	dFJ 2.2
Vazões	Vazão histórica com transposição do São Francisco – capacidade máxima 20 m <sup>3</sup> /s	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
	Vazão histórica com transposição do São Francisco – capacidade máxima 10m <sup>3</sup> /s	-	Cenário 5	-	Cenário 6
	Vazão futura com transposição do São Francisco – capacidade máxima 10 m <sup>3</sup> /s	-	Cenário 7	-	-

Visando a síntese dos resultados, neste relatório optou-se por apresentar as simulações dos cenários 4, 5, 6 e 7.

#### 4.4.1 Cenário 4

O cenário de demandas dFJ 2.2 com o cenário de vazões históricas do sistema, acrescentando a transposição das águas do rio São Francisco, limitando a capacidade máxima de chegada ao reservatório Castanhão em  $20\text{m}^3/\text{s}$ , formaram o Cenário 4. O reservatório Castanhão apresentou (Figura 28) 318 meses (26,2% do tempo) com estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. O reservatório atinge o volume mínimo operacional ( $220\text{hm}^3$ ) durante 102 meses da simulação (8,4% do tempo), atingindo o completo esvaziamento em 5,1% do tempo.

As águas da transposição do rio São Francisco chegam ao reservatório Castanhão conforme mostra a Figura 29. Este cenário indica a transferência máxima de  $20\text{ m}^3/\text{s}$  em 73% do tempo. Em 26% do tempo simulado não existe transferência. Durante o período, a vazão média resultou em  $14,8\text{ m}^3/\text{s}$ .

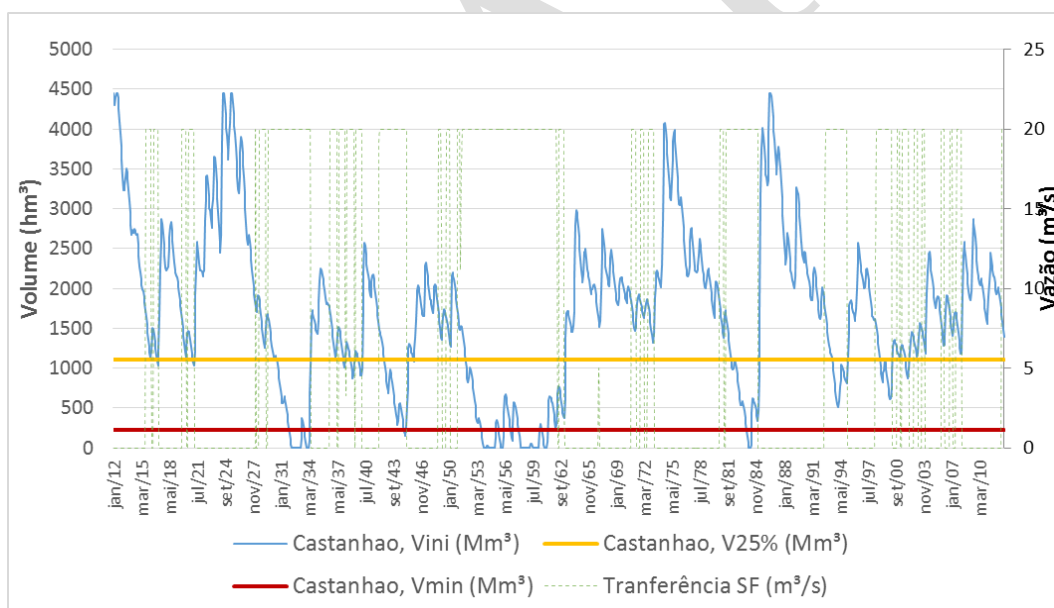


Figura 28- Simulação da operação do reservatório Castanhão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 1-2 e capacidade máxima de  $20\text{ m}^3/\text{s}$  de água transposta do rio São Francisco.



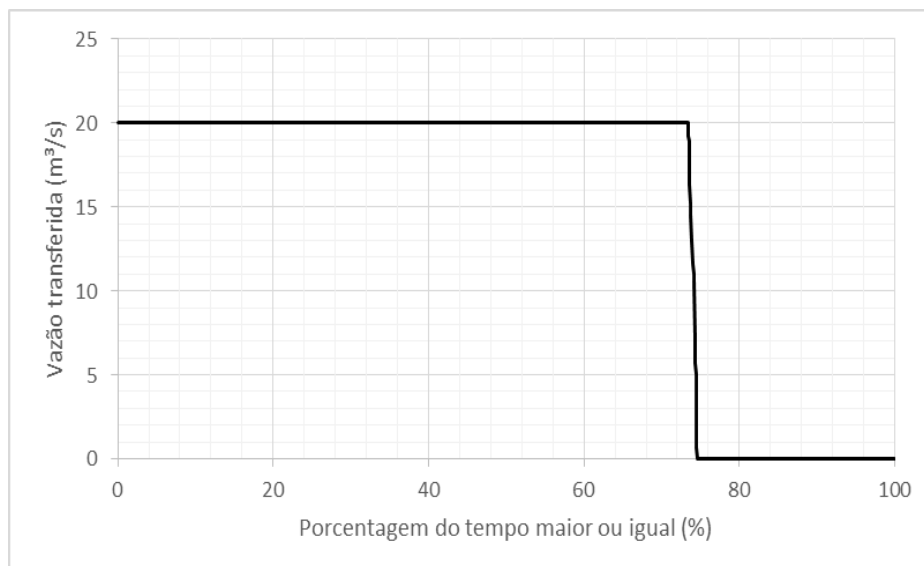


Figura 29 – Curva de permanência da transferência das águas do rio São Francisco para à região do Ceará: Vazão de chegada ao reservatório Castanhão.

O reservatório Orós apresentou comportamento indicado na Figura 30. Este apresenta em, aproximadamente, 26% do tempo da simulação estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. Seu volume mínimo operacional de 100 hm<sup>3</sup> é atingindo em 102 meses do período (8,5% do tempo), indicando falhas no atendimento das demandas locais. O reservatório apresentou um período máximo de 28 meses consecutivos com falhas. O déficit total de água resultou em 1788 hm<sup>3</sup> aproximadamente, e a vazão média fornecida foi 7,12 m<sup>3</sup>/s.

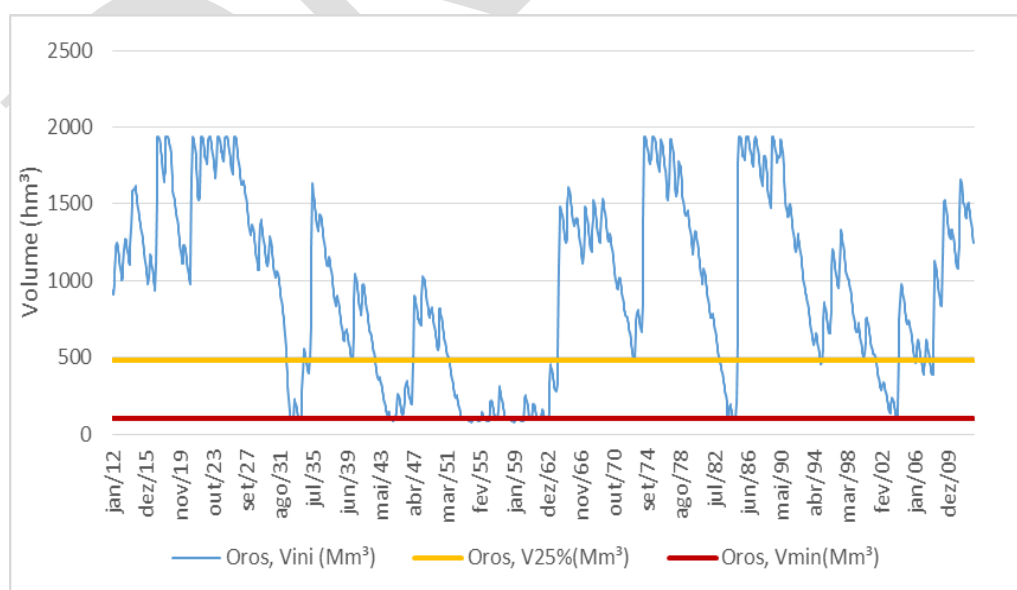


Figura 30 - Simulação da operação do reservatório Orós, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 2-2 e capacidade máxima de 20 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

Na Figura 31 pode-se ver a curva de permanência das transferências ocorridas através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador, nos respectivos trechos finais (Aporte na RMF). No reservatório Pacoti-Riachão, na região metropolitana de Fortaleza, ocorreu em média o aporte de 7,73 m<sup>3</sup>/s via Eixão das Águas, com transporte ocorrendo em 65% do tempo.

O comportamento do reservatório Pacajús e do Pacoti-Riachão podem ser vistos na Figura 32 e na Figura 33. O reservatório Pacoti-Riachão atingiu seu volume mínimo operacional em 3,2% do tempo, enquanto o Pacajús em 0,7% do tempo simulado. Ao chegarem nesse volume, estes reservatórios necessitariam utilizar as águas do volume morto para o suprimento das demandas locais.

Os déficits de atendimento das demandas são mostrados na Tabela 7. O Distrito de Irrigação do Perímetro Tabuleiro de Russas (Distar) apresentou falha em 15,4 % do tempo, tendo a vazão média fornecida de 7,8 m<sup>3</sup>/s. A exceção das demandas dos reservatórios Pacajús, Pacoti-Riachão e Gavião, todas as outras demandas apresentaram falhas. Cabe destacar que a restrição de uso (falha de atendimento) na região do Jaguaribe, no Canal do Trabalhador e no Eixão das Águas contribuiu para que todas as demandas da RMF fossem atendidas.

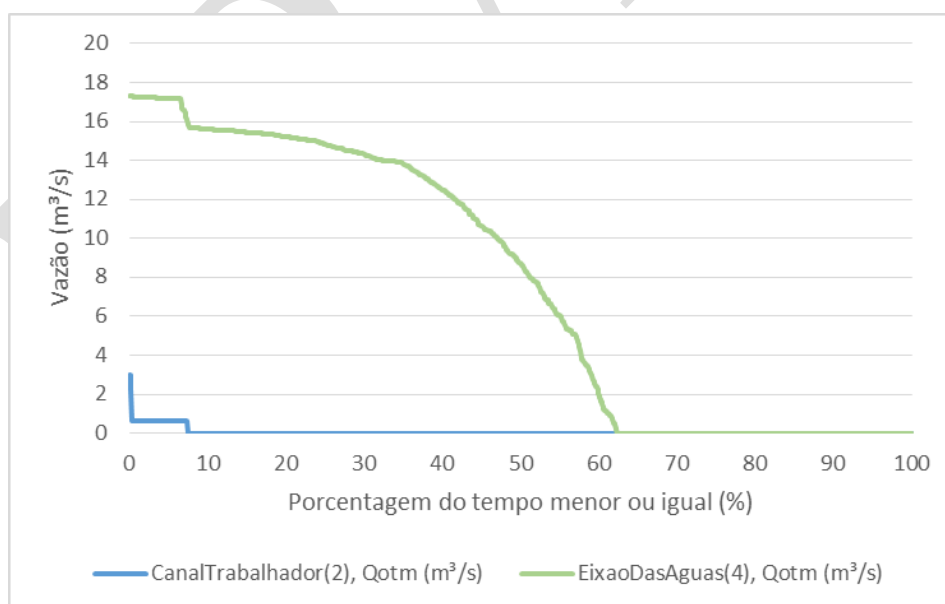


Figura 31 – Curva de permanência da transferência hídrica mensal ocorrida entre os sistemas Jaguaribe e Metropolitano através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador (vazões de chegada à RMF).

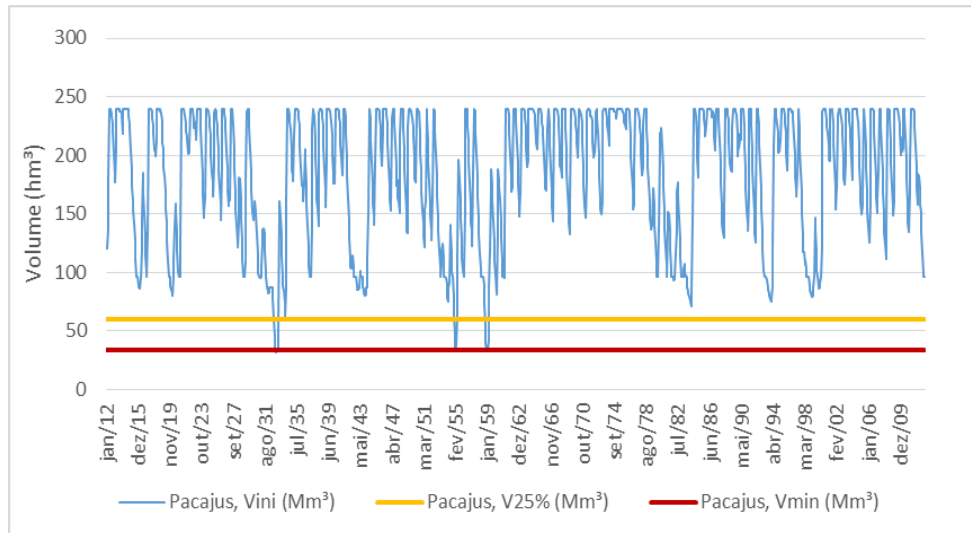


Figura 32 – Simulação da operação do reservatório Pacajus, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 2-2 e capacidade máxima de 20 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

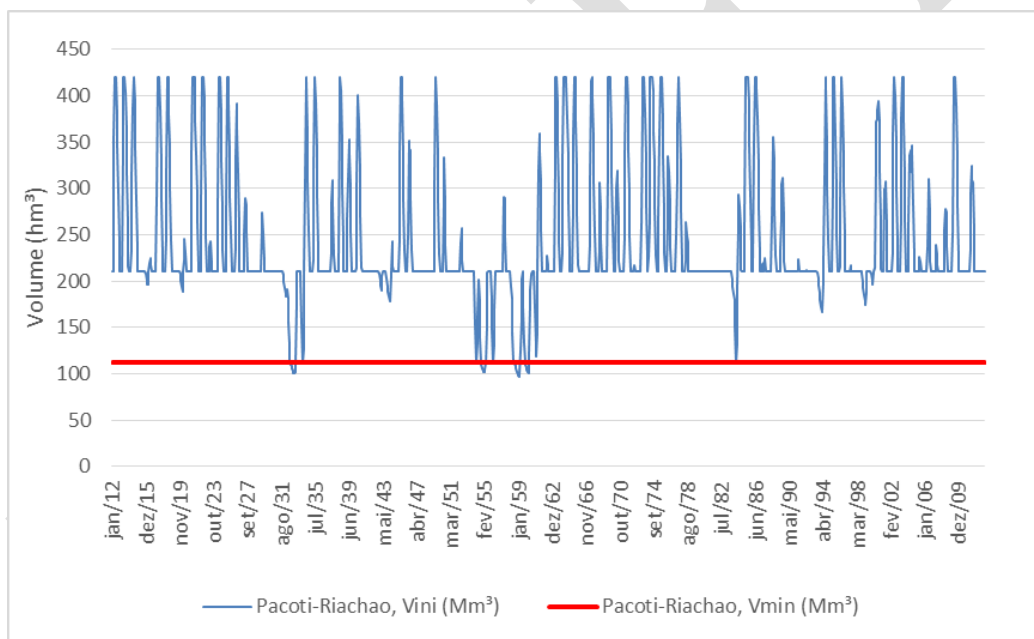


Figura 33 - Simulação da operação do reservatório Pacoti-Riachão, com vazões históricas de 1912-2012, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 2-2 e capacidade máxima de 20 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

Tabela 7 - Déficits de atendimento das demandas para o cenário 4

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (hm <sup>3</sup> )	Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /s)
Orós	28,00	8,17	1787,93	7,12
Castanhão	8,00	3,22	876,91	17,89
Banabuiú	15,00	12,05	1450,37	4,36
Distar	17,00	15,43	4377,38	7,78
Canal Trabalhador	10,00	3,22	220,25	2,30
EixaoDasAguas	10,00	2,64	201,99	2,51
Aracoiaba	6,00	0,50	6,39	0,81
Pacajús	0,00	0,00	0,00	0,88
Pacoti-Riachão	0,00	0,00	0,00	0,60
Gaviao	0,00	0,00	0,00	15,58
CIPP	0,00	0,00	0,00	2,17

#### 4.4.2 Cenário 5

O Cenário 5 foi montado incorporando o cenário de demandas dFJ 1.2 com o cenário de vazões históricas do sistema, acrescentando a transposição das águas do rio São Francisco, limitando a capacidade máxima de chegada no reservatório Castanhão em 10 m<sup>3</sup>/s.

A Figura 34 demonstra o comportamento da operação do reservatório Castanhão. Observa-se que em 46% do tempo o reservatório Castanhão tem seu estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. O reservatório atinge o volume mínimo operacional (220hm<sup>3</sup>) em 217 meses do período (18%). A simulação indica, ainda, o esvaziamento completo do Castanhão em 10,7 % do tempo (130 meses) do período simulado.

A Figura 35 apresenta a curva de permanência da vazão de chegada ao Castanhão das águas da transposição do rio São Francisco. Este cenário indica a transferência máxima de 10 m<sup>3</sup>/s em 80% do tempo. Em 19 % do tempo simulado não existe transposição das águas. Durante o período, a vazão média resultou em 8,04 m<sup>3</sup>/s.

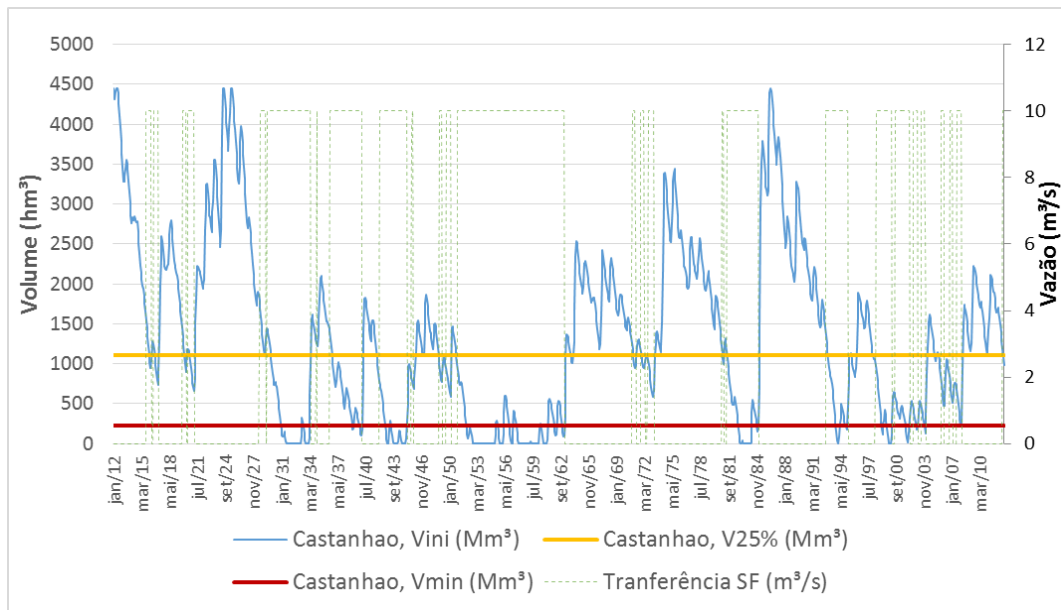


Figura 34- Simulação da operação do reservatório Castanhão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 1-2 e capacidade máxima de 10 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

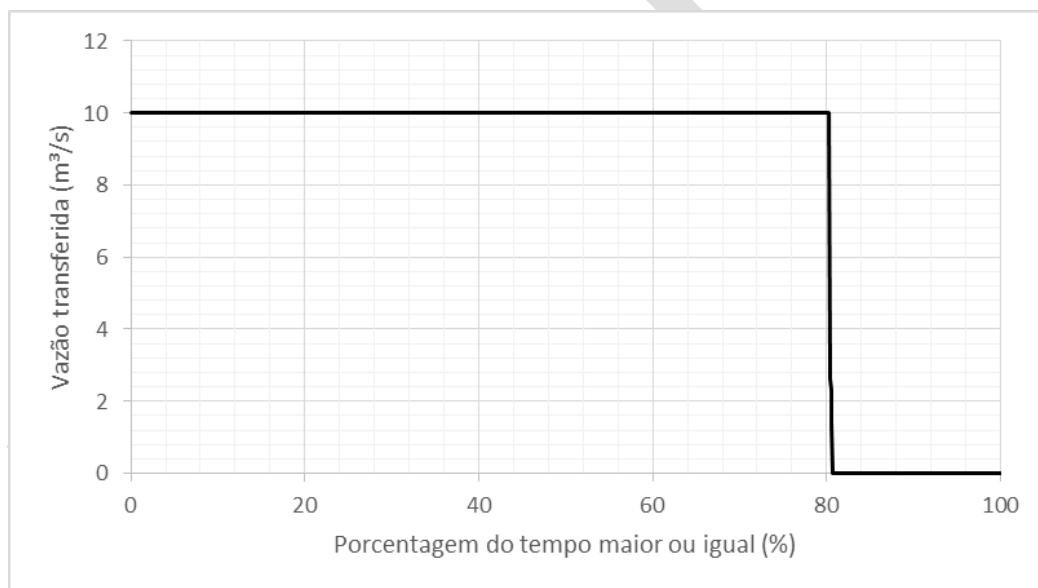


Figura 35 – Curva de permanência da transferência das águas do rio São Francisco para à região do Ceará: Vazão de chegada ao reservatório Castanhão.

O reservatório Orós apresentou comportamento indicado na Figura 36. Este apresenta em, aproximadamente, 27% do tempo da simulação estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. Seu volume mínimo operacional de 100 hm<sup>3</sup> é atingindo em 11% do tempo, indicando falhas no atendimento das demandas locais. O reservatório apresentou um período máximo de 29 meses consecutivos com falhas. A vazão média fornecida foi 6,95 m<sup>3</sup>/s.

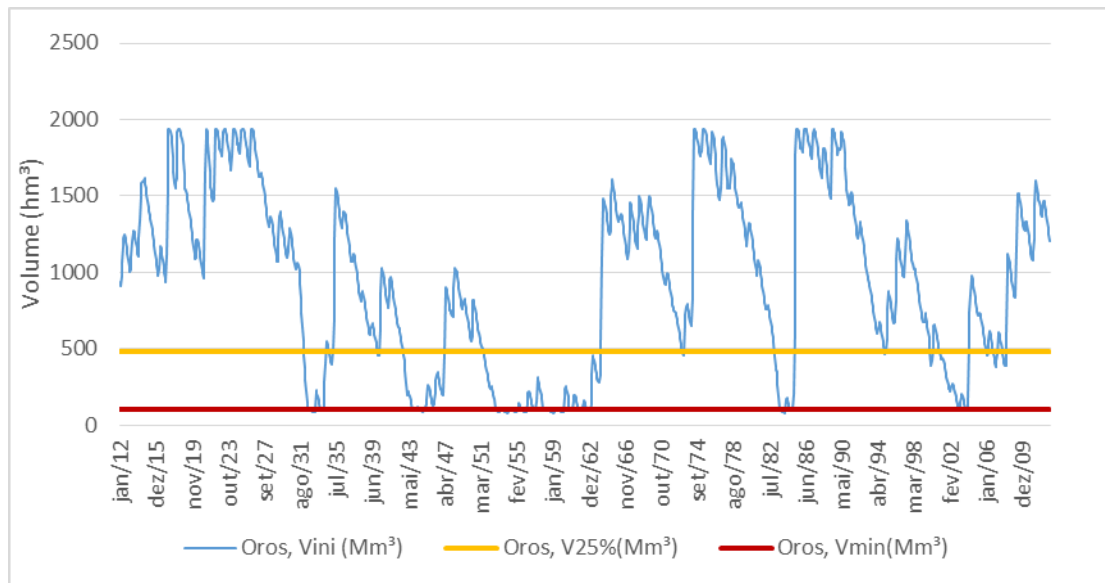


Figura 36 - Simulação da operação do reservatório Orós, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 1-2 e capacidade máxima de 10 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

Na Figura 37 pode-se ver a curva de permanência das transferências ocorridas através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador, nos respectivos trechos finais (Aporte na RMF). No reservatório Pacoti-Riachão, na região metropolitana de Fortaleza, em média, ocorreu o aporte de 5,2 m<sup>3</sup>/s via Eixão das Águas, com transporte ocorrido em 55 % do tempo.

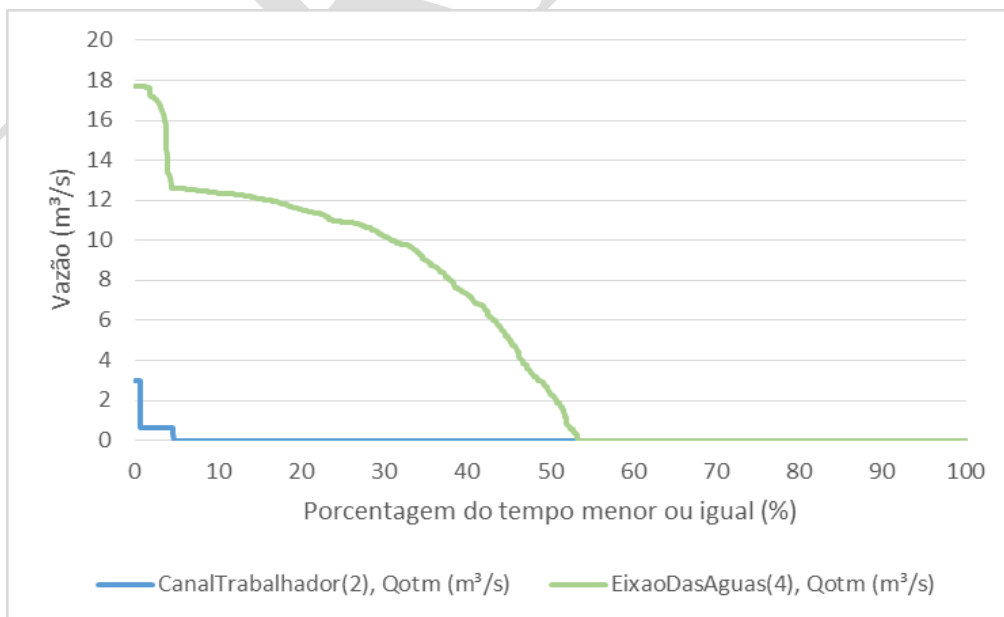


Figura 37 – Curva de permanência da transferência hídrica mensal ocorrida entre os sistemas Jaguaribe e Metropolitano através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador (vazões de chegada à RMF).

Na Figura 38 observa-se o comportamento do reservatório Pacoti-Riachão. O reservatório apresentou em 6,4% do tempo da simulação volume inferior ao seu mínimo operacional, indicando a necessidade de utilização do seu volume morto, indicando possível redução da vazão de abastecimento local. A Tabela 8 mostra os déficits das demandas simuladas.

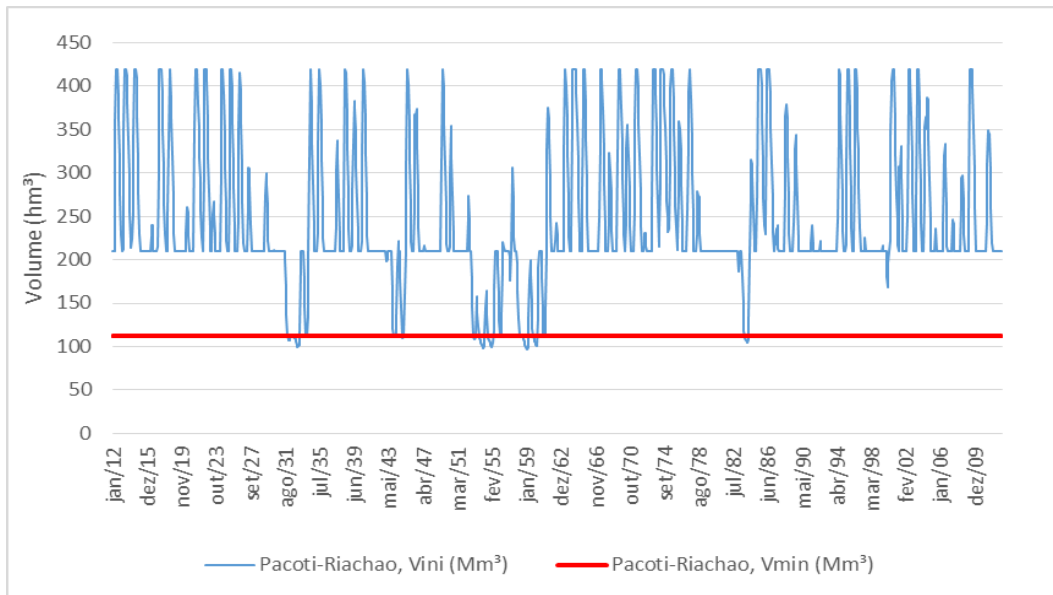


Figura 38 – Simulação da operação do reservatório Pacoti-Riachão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 1-2 e capacidade máxima de 10 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

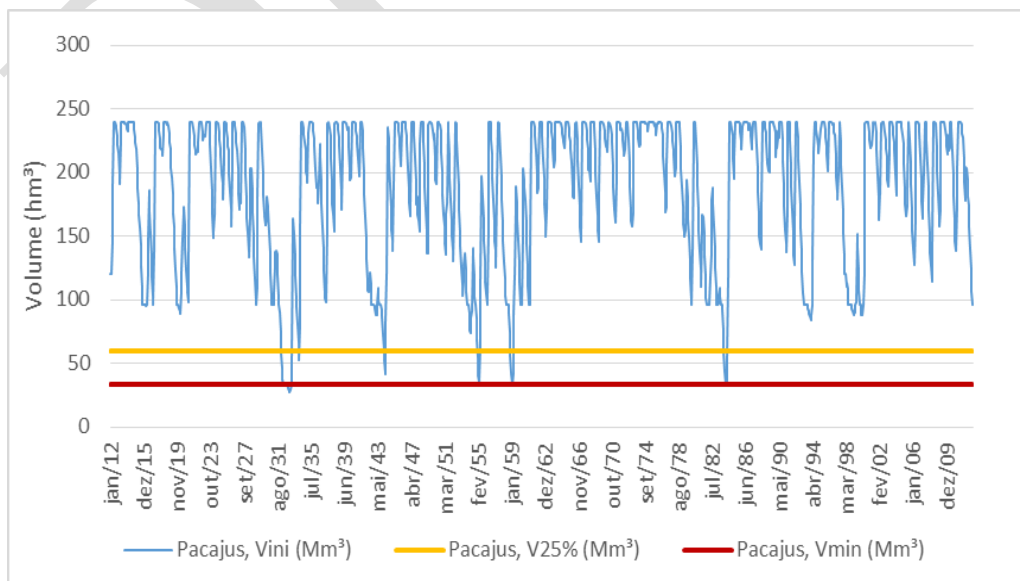


Figura 39– Simulação da operação do reservatório Pacajús, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 1-2 e capacidade máxima de 10 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

Tabela 8 - Déficits de atendimento das demandas para o Cenário 5

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (Mm <sup>3</sup> )	Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /s)
Orós	29,00	10,56	2353,82	6,94
Castanhão	15,00	7,67	3213,31	17,15
Banabuiú	15,00	12,87	1572,04	4,32
Distar	17,00	16,50	4655,37	7,69
Canal Trabalhador	14,00	8,09	575,77	2,19
EixaoDasAguas	17,00	6,19	411,81	2,01
Aracoiaba	16,00	1,32	14,09	0,67
Pacajús	6,00	0,50	9,91	0,73
Pacoti-Riachão	0,00	0,00	0,00	0,50
Gaviao	6,00	0,50	51,35	12,96
CIPP	6,00	2,15	69,59	1,79

#### 4.4.3 Cenário 6

O cenário de demandas dFJ 2.2 com o cenário de vazões históricas, acrescentando a transposição das águas do rio São Francisco, limitando a capacidade máxima de chegada no reservatório Castanhão em 10 m<sup>3</sup>/s formaram o cenário 6.

A Figura 40 demonstra o comportamento da operação do reservatório Castanhão. Observa-se que em 55% 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 hm<sup>3</sup>) em 24% do tempo simulado. A simulação indica, ainda, o esvaziamento completo do Castanhão em 15% do tempo.

A Figura 41 apresenta a curva de permanência da vazão de chegada ao Castanhão das águas da transposição do rio São Francisco. Este cenário indica a transferência máxima de 10 m<sup>3</sup>/s em 82% do tempo. Em 17 % do tempo simulado não existe transposição das águas. Durante o período, a vazão média resultou em 8,26 m<sup>3</sup>/s.



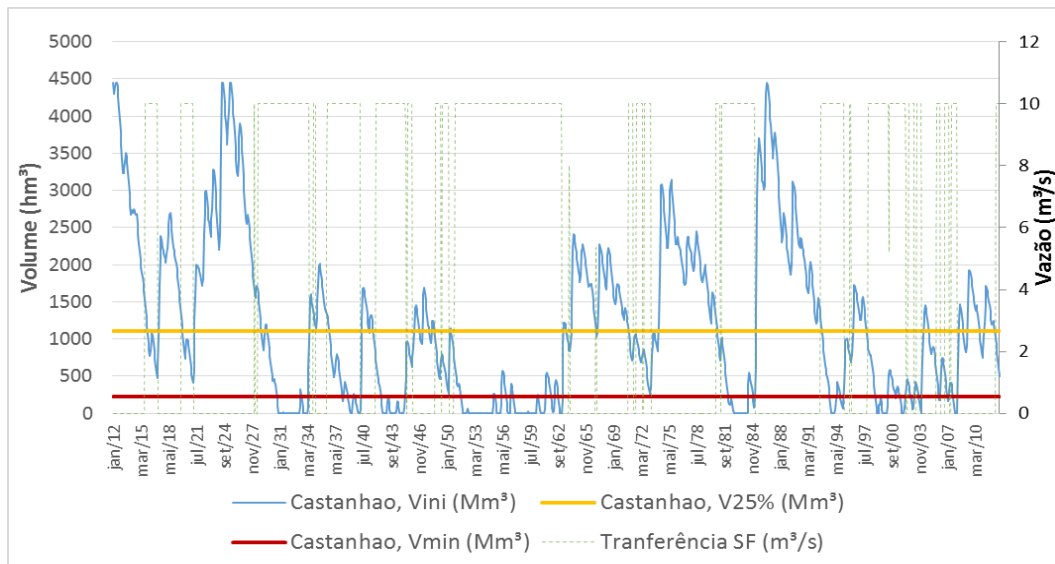


Figura 40- Simulação da operação do reservatório Castanhão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 2-2 e capacidade máxima de 10 m³/s de água transposta do rio São Francisco.

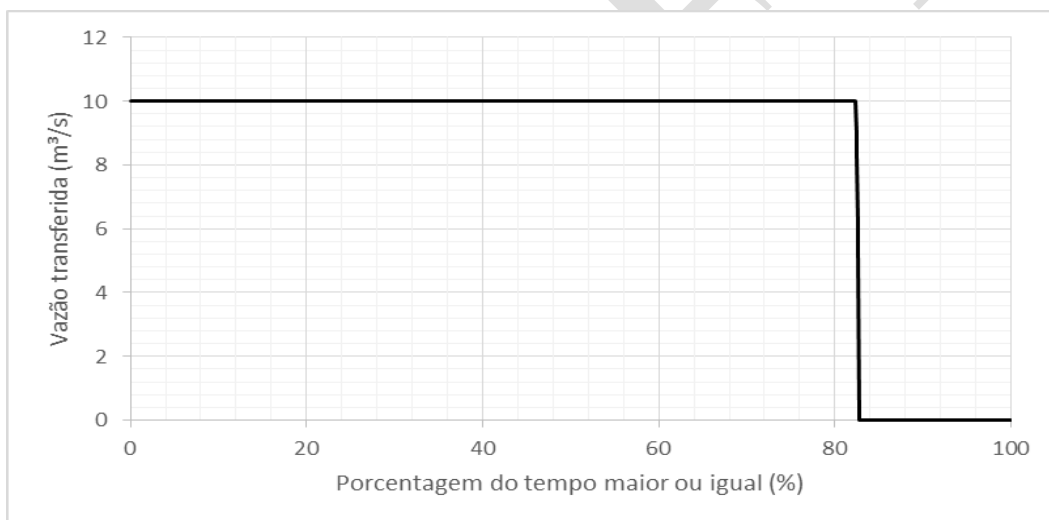


Figura 41 – Curva de permanência da transferência das águas do rio São Francisco para à região do Ceará: Vazão de chegada ao reservatório Castanhão.

O reservatório Orós apresentou comportamento indicado na Figura 42. Este apresenta em, aproximadamente, 32% do tempo da simulação estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. Seu volume mínimo operacional de 100 hm³ é atingindo em 14% do tempo, indicando falhas no atendimento das demandas locais. O reservatório apresentou um período máximo de 33 meses consecutivos com falhas. A vazão média fornecida foi 6,73 m³/s.

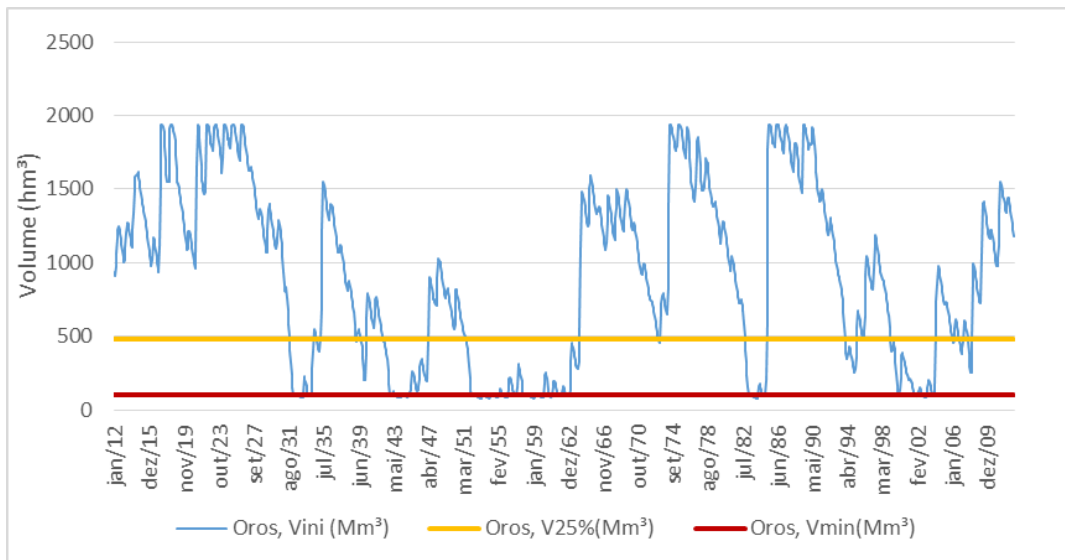


Figura 42 - Simulação da operação do reservatório Orós, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 2-2 e capacidade máxima de 10 m³/s de água transposta do rio São Francisco.

Na Figura 37Figura 43 pode-se ver a curva de permanência das transferências ocorridas através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador, nos respectivos trechos finais (Aporte na RMF). No reservatório Pacoti-Riachão, na região metropolitana de Fortaleza, em média, ocorreu o aporte de 7,4 m³/s via Eixão das Águas, com transporte ocorrido em 63 % do tempo.

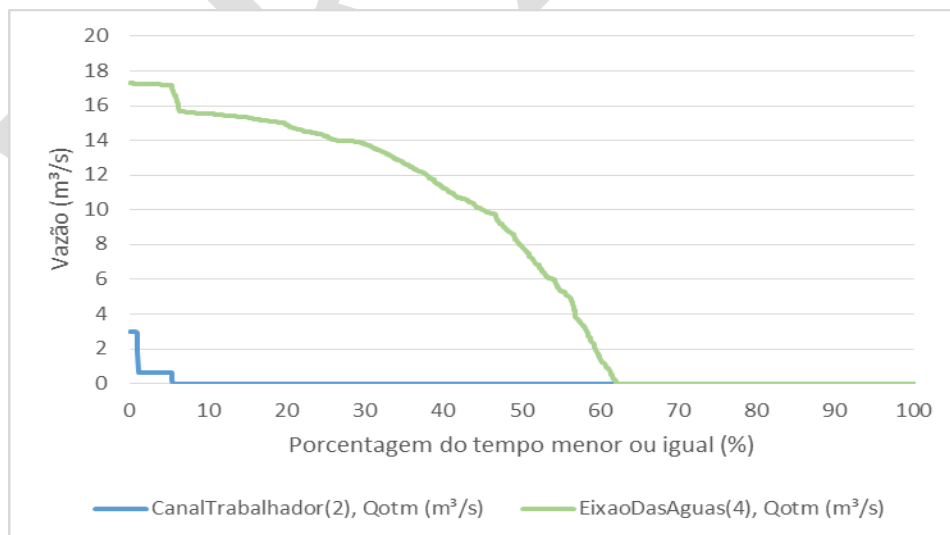


Figura 43 – Curva de permanência da transferência hídrica mensal ocorrida entre os sistemas Jaguaribe e Metropolitano através dos canais Eixão das Águas e Canal do Trabalhador (vazões de chegada à RMF).

Na Figura 38Figura 44 observa-se o comportamento do reservatório Pacoti-Riachão. O reservatório apresentou em 10% do tempo da simulação volume inferior ao

seu mínimo operacional, indicando a necessidade de utilização do seu volume morto, indicando possível redução da vazão de abastecimento local. As simulações indicaram falha em até 4,5% do tempo na RMF. A Tabela 9 mostra os déficits das demandas simuladas.

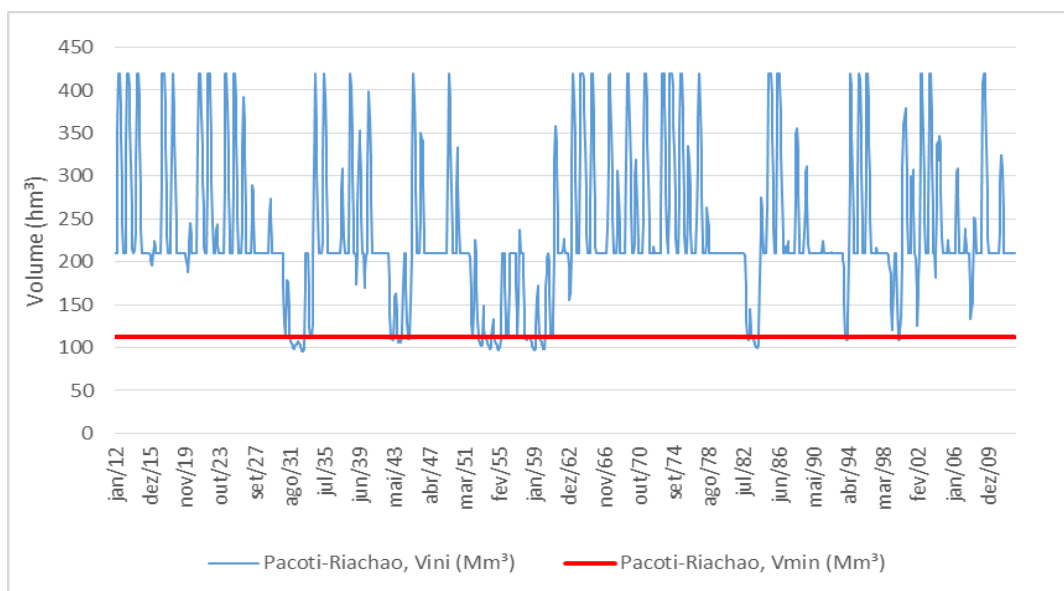


Figura 44 – Simulação da operação do reservatório Pacoti-Riachão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 2-2 e capacidade máxima de 10 m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco.

Tabela 9 - Déficits de atendimento das demandas para o Cenário 5

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)	Frequência abaixo da demanda necessária (%)	Volume acumulado dos déficits (hm <sup>3</sup> )	Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /s)
Orós	33,00	13,61	3019,18	6,73
Castanhão	20,00	10,64	4693,76	16,69
Banabuiú	15,00	13,04	1636,27	4,30
Distar	17,00	16,83	4725,80	7,67
Canal Trabalhador	16,00	10,81	750,06	2,14
EixaoDasAguas	20,00	9,41	750,43	2,33
Aracoiaba	20,00	2,32	29,80	0,80
Pacajús	9,00	0,83	22,65	0,87
Pacoti-Riachão	0,00	0,00	0,00	0,60
Gavião	8,00	3,38	238,83	15,51

CIPP	9,00	4,54	271,74	2,09
------	------	------	--------	------

#### 4.4.4 Cenário 7

A construção do cenário 7 foi realizado tomando o cenário de demandas dFJ 1.2 e combinando aos cenários de vazões futuras de três modelos: BCC-CSM1-1 HadGem2 e MIROC5. A seguir, serão apresentados os principais resultados deste cenário.

Na Tabela 10 observam-se as porcentagens de tempo em que os reservatórios permaneceram abaixo dos volumes de 25% do volume total, volume mínimo e volume zero. Nos três modelos, o reservatório Banabuiú apresenta os piores estoques, chegando a passar 56,5% do tempo com volume igual a zero no modelo HadGEM2. O reservatório Castanhão apresenta para o modelo HadGEM2 26% do tempo com volume igual zero. Nos outros dois modelos o reservatório também atinge o colapso. Os reservatórios da região Metropolitana de Fortaleza apresentaram volume zero no modelo HAdGEM2. Este modelo apresentou os piores resultados das simulações.

Tabela 10 - Resultados dos estoques dos reservatórios para o cenário de demanda dFJ 1.2 e vazões futuras dos modelos BCC-CSM1.1, HadGEM2 e MIROC5

	Reservatório	BCC-CSM1.1	HadGEM2-ES	MIROC5
Porcentagem do tempo com volume abaixo de 25% do total	Banabuiú	75%	80%	65%
	Castanhão	50%	50%	40%
	Orós	36%	43%	10,7%
	Pacajús	0%	13,5%	0,93%
	Pacoti-Riachão	0%	15%	0,93%
Porcentagem do tempo com volume abaixo de volume mínimo	Castanhão	25%	33,33%	13,5%
	Gavião	0%	10,88%	0%
	Orós	10%	28%	3%
	Pacajús	0%	12%	0,5%
	Pacoti-Riachão	1,6%	21%	1,6%
Porcentagem do tempo com volume igual a zero	Banabuiú	46%	56,5%	27%
	Castanhão	13%	26%	6,7%
	Gavião	0%	4,2%	0%
	Orós	0%	0%	0%
	Pacajús	0%	1,85%	0%
	Pacoti-Riachão	0%	0%	0%

As simulações mostram as demandas do reservatório Banabuiú e do Distrito de Irrigação do Tabuleiro de Russas (Distar) com as maiores falhas de atendimento. Apenas o modelo HadGEM2 apresentou falhas entre 9,5% e 11,2% para as demandas da RMF. O modelo MIROC5 mostra menores severidades para o sistema. Neste modelo, o Orós apresentou falha em 2,8% do tempo e o Castanhão em 2%. O Banabuiú e o Distar apresentaram, respectivamente, 22,5% e 25,7% do tempo com falhas (Tabela 11).

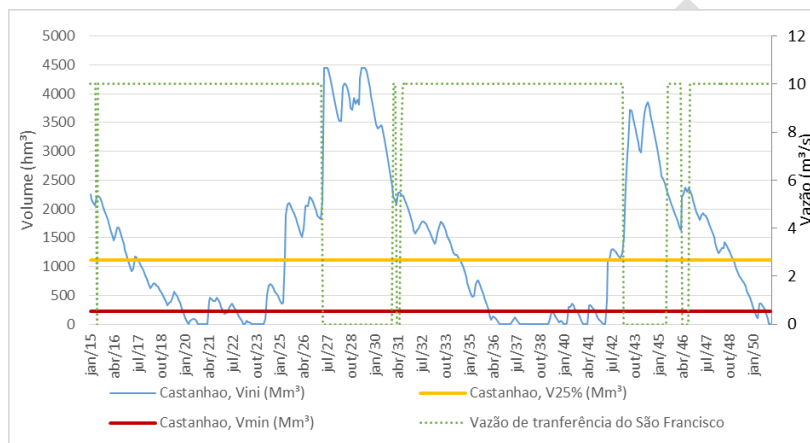
Tabela 11 - Frequência das falhas de atendimento da demanda necessária e vazões médias fornecidas para o cenário de demanda dFJ 1.2 e vazões futuras dos modelos BCC-CSM1.1, HadGEM2 e MIROC5.

	<b>Demandas</b>	<b>BCC- CSM1.1</b>	<b>HadGEM2</b>	<b>MIROC5</b>
<b>Frequência abaixo da demanda necessária (%)</b>	Orós	8,10	28,01	2,78
	Castanhão	8,56	24,54	2,08
	Banabuiú	37,27	50,23	22,45
	Distar	42,82	54,17	25,69
	Canal Trabalhador	10,42	24,54	3,70
	Eixão Das Águas	1,62	19,91	1,62
	Pacajús	0,00	11,11	0,46
	Pacoti-Riachão	0,00	10,88	0,46
	Gavião	0,00	9,49	0,46
	CIPP	0,00	10,65	1,39
<b>Vazão média fornecida (m<sup>3</sup>/s)</b>	Orós	7,20	5,65	7,50
	Castanhão	17,43	14,41	17,83
	Banabuiú	3,25	2,59	3,84
	Distar	5,33	4,27	6,88
	Canal Trabalhador	2,14	1,79	2,30
	Eixão Das Águas	2,11	1,71	2,11
	Pacajús	0,73	0,65	3,34
	Pacoti-Riachão	0,50	0,45	1,26
	Gavião	12,98	12,66	12,98
	CIPP	1,81	1,63	1,79

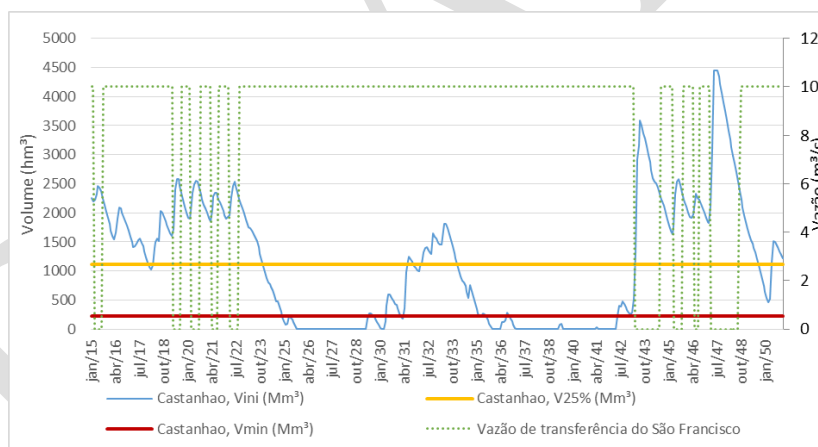
A Figura 45 mostra a acumulação do reservatório Castanhão e da vazão mensal de transferência do rio São Francisco para os três modelos de variação do clima. Esta figura mostra a transferência entre as bacias ocorrendo quando o reservatório Castanhão atinge 50% do volume total. Estas frações do volume total foram estabelecidas na modelagem devido a limitação de 10m<sup>3</sup>/s do canal a montante do Castanhão. Elas fazem com que o sistema transfira água antes que o reservatório atinja o colapso. Na, Figura

45(b), observa-se um período de transferência iniciando em julho 2022, quando o reservatório possuía um volume de 2250 hm<sup>3</sup>, aproximadamente. A partir desse momento, o reservatório recebe de transferência o valor máximo de 10m<sup>3</sup>/s durante os três anos seguintes quando atinge o colapso em junho de 2025, indicando que a capacidade máxima de 10m<sup>3</sup>/s seja um valor insuficiente para este cenário de demanda e vazões simulado com gatilho de transferência de 50% do volume máximo do Castanhão.

a)



b)



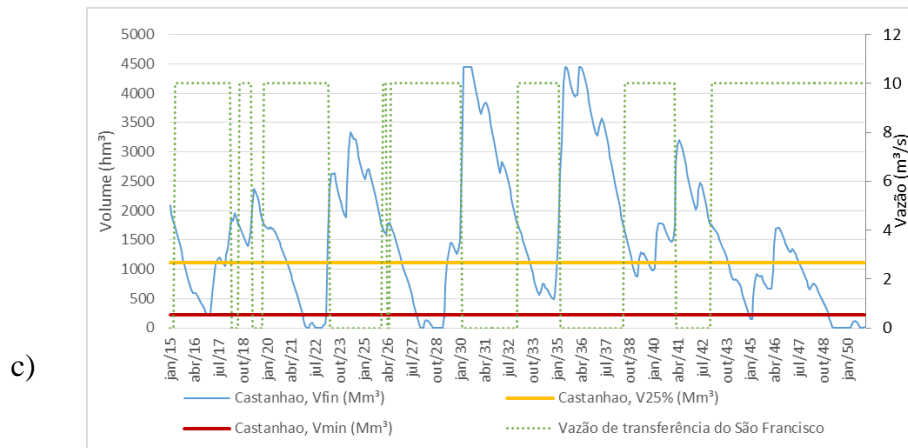


Figura 45- Acumulação do reservatório Castanhão e vazão da transposição do rio São Francisco para o cenário de demanda dFJ 1.2 e vazões futuras dos modelos: BCC-CSM1.1 (a), HadGEM2 (b) e MIROC5 (c).

## 5 GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS URBANAS

### 5.1 Motivação e Estratégia Geral

O risco de falha no abastecimento de Fortaleza devido tanto a variabilidade e mudanças do clima quanto ao crescimento da população comentados nas seções anteriores ressalta a necessidade de utilização de novas fontes de abastecimento e do desenvolvimento de um gerenciamento integrado das águas em meio urbano.

De acordo com Bahri (2012), os objetivos da gestão de águas urbanas são garantir o acesso à água e a infraestruturas e serviços de saneamento, gerenciamento de águas pluviais e da drenagem, controle de doenças e epidemias de veiculação hídrica, além da minimização do risco de sinistros relacionados à água: inundações, secas e deslizamentos de terra, sem perder o foco da prevenção da degradação dos recursos.

Na integração preconizada para esta gestão deve-se considerar de modo inter-relacionado: (i) os componentes do ciclo hidrológico, (ii) os aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, (iii) as três esferas de poder, (iv) as políticas públicas e (v) os setores econômicos e privados. Aliado a todos esses elementos há de haver a integração dos aspectos social, econômico e de proteção do meio ambiente no âmbito de visão de desenvolvimento.

A gestão integrada de águas urbanas tem, assim, um papel crescente na sustentabilidade das sociedades humanas. A introdução de tecnologias inovadoras, sistemas de gestão e arranjos institucionais para atender múltiplos objetivos de equidade, integridade ambiental e econômica eficiência, ao mesmo tempo oferecendo

alto nível de serviços de água para os residentes urbanos, é uma tarefa de peso neste tipo de gestão (NIEMCZYNOWICZ, 1999). Assim, esse modelo tem como futuros desafios o de organizar a cooperação intersetorial com atores diversos, nos sistemas de educação, programas de ajuda, hábitos sociais, políticas, estrutura e gestão das sociedades. Para tanto, inicialmente, a formulação e esclarecimento dos objetivos dessa mudança, junto a todos os atores envolvidos, é indiscutivelmente necessário, já que é ela quem irá indicar o azimute para as ações futuras.

Deste modo, essa seção objetiva apresentar um modelo conceitual da utilização de novas fontes de abastecimento de água para Fortaleza pautado no contexto de gestão integrada de águas urbanas. Nesse modelo enfatiza-se o desenvolvimento de estratégias para a gestão da oferta e da demanda de água. Na gestão da oferta busca-se a utilização de novas fontes de água para o abastecimento da cidade. A gestão da demanda envolve todas as ações relacionadas aos usos econômicos e sociais da água e à sustentabilidade ambiental. Aspectos como a conservação da água (uso racional) e a flexibilidade dos usos são dimensões relevantes dessa gestão.

O modelo de gestão integrada de águas proposto para Fortaleza está exposto na Figura 46. Por este modelo, o abastecimento da cidade será realizado por quatro meios: águas interestaduais (oriundas da transposição do São Francisco), águas inter-regionais (provenientes da bacia do Jaguaribe), águas locais do sistema atual de abastecimento e águas locais de fontes alternativas (reuso, águas pluviais, águas subterrâneas e dessalinização).

As águas oriundas do sistema de abastecimento de água bruta futuro (Sistema São Francisco-Jaguaribe-Metropolitano) são direcionadas para o açude Gavião a qual é feita a captação para as Estações de Tratamento de Água (ETA-Gavião e ETA-Oeste). Saindo da ETA, a água é transportada e distribuída por meio de estações elevatórias, centros de reservação, conjunto de conexões, peças especiais e condutos até os lotes urbanos.

No lote urbano, a água é utilizada e transformada em esgoto. Este é direcionado para as Estações de Tratamento- ETE ou para o emissário submarino. Nesse modelo, o esgoto passa a ser um recurso aproveitável por meio de três alternativas: (i) reuso de águas cinza (água das torneiras, duchas, chuveiros) no lote urbano, (ii) reuso nas estações de tratamento de esgoto e (iii) reuso da parcela do volume de esgotamento direcionado ao emissário submarino.



Outro recurso aproveitável na cidade são as águas pluviais. Neste sentido, faz-se necessário a implantação de sistemas de captação e utilização dessas águas nos lotes urbanos e de técnicas estruturais de drenagem compensatória como: bacias de retenção, retenção e infiltração; trincheiras, valas, valetas e pavimentos permeáveis.

O esgoto e as águas pluviais têm ocasionado problemas sistemáticos para Fortaleza como inundações, cheias e contaminação de corpos hídricos. Esta cidade possui seu solo totalmente impermeabilizado impedindo que uma grande parcela de águas da chuva seja absorvida e armazenada no subsolo. Portanto, toda a água de chuva escoar superficialmente e se infiltra na rede coletora pelos poços de visita e caixas de ligações domiciliares. Contudo, Fortaleza não possui infraestrutura suficiente para permitir o escoamento de água de chuva em galerias apropriadas. Em períodos chuvosos, águas pluviais, que deveriam ser drenadas, são lançadas nas redes de esgoto, acarretando na saturação da mesma, o que ocasiona o transbordamento do esgotamento sanitário. Em controvérsia, o esgoto muitas vezes é destinado à rede de drenagem pluvial ocasionando a contaminação de rios, córregos e das águas subterrâneas.

Deste modo, o uso de águas pluviais e reuso de águas de esgoto tem seus benefícios tanto na gestão de secas sendo fontes alternativas de abastecimento para uso não potável quanto na gestão de cheias urbanas por meio da redução do volume de esgoto e das águas pluviais.

Outro manancial alternativo para o abastecimento dos lotes urbanos bem como, do Complexo Industrial do Porto de Fortaleza, são as águas subterrâneas. A captação dessas águas se dará através de poços perfurados no domínio hidrogeológico de dunas/paleodunas.

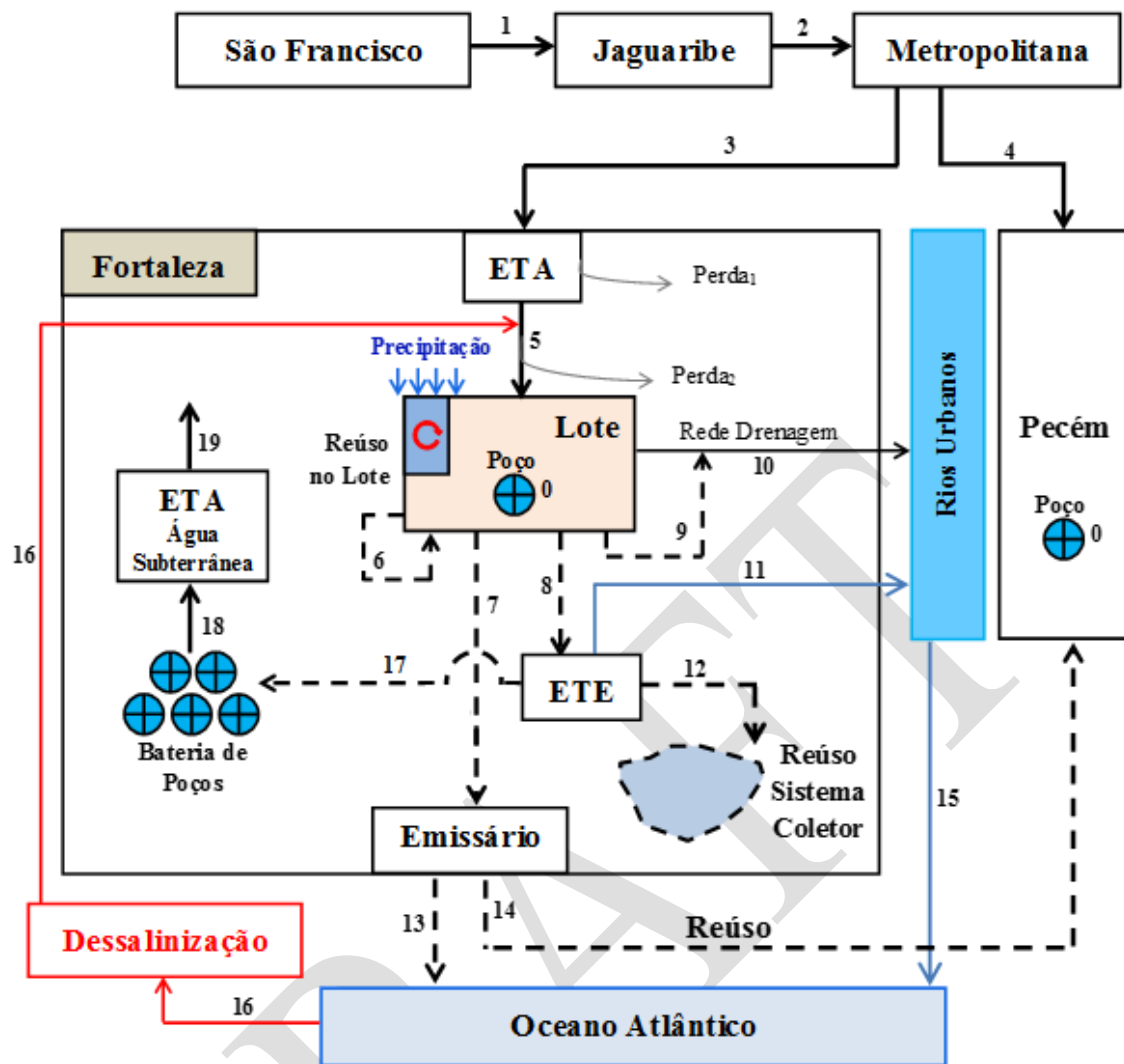


Figura 46. Modelo de Gestão Integrada de Águas Urbanas.

Contudo, o reúso e as águas pluviais possuem um risco de falha devido a sua correlação com o total de precipitação, isto é, em anos secos, o volume de água bruta destinado a ETA é reduzido ocasionando a diminuição da vazão destinada aos lotes urbanos e, por consequência a menor produção de esgoto. Além disso, o volume de água de chuva que poderia ser aproveitamento também se reduz. Assim, o reúso e a utilização e água de chuva deixam de ser eficazes enfatizando a necessidade de um manancial complementar para o abastecimento de Fortaleza. Nesse modelo propõe-se como fonte complementar a dessalinização da água do mar.

Cada uma das fontes alternativas citadas no modelo e as ações para a gestão da demanda hídrica serão descritas os itens subsequentes.

## 5.2 Gestão da Oferta Hídrica

### 5.2.1 Águas superficiais

A multiplicidade de usos dos recursos hídricos do sistema Jaguaribe-Metropolitano torna-o um sistema bastante complexo e difícil de operar. A definição de uma política de operação dos reservatórios é de grande importância e contribuirá para a gestão eficiente dos recursos hídricos disponíveis das regiões.

A análise das simulações mostrou uma elevada perda de água por vertimento e, também, por evaporação na bacia metropolitana. Esta perda deu-se, em grande parte, pelo excedente de água transferida da região do Jaguaribe. Assim, faz-se necessário a criação de política de transferência entre as duas regiões de forma a minimizar as perdas (evaporação e vertimento) e maximizar os benefícios da utilização da água, tornando o sistema eficiente nos múltiplos usos. Esta política de transferência é baseada em gatilhos operacionais, que, quando acionados, disparam a ordem de transferência entre as bacias envolvidas.

Diversas técnicas de otimização podem ser utilizadas para a identificação de uma regra de operação ótima para sistemas de reservatórios. A literatura mostra a utilização de diferentes técnicas de otimização para soluções em recursos hídricos, tais como Programação Linear, Programação não Linear, Programação Dinâmica, Algoritmos Evolucionários, Algoritmos Heurísticos, entre outros.

Em regiões que apresentam alta frequência de ocorrência de períodos secos de afluência adota-se uma operação de reservatórios baseada em salvaguardas. Este modelo de operação visa prolongar a disponibilidade do recurso hídrico impondo racionamento a alguns usos antes do reservatório atingir o colapso. Esta medida pode contribuir para o aumento da frequência de falhas (frequência de vezes que o reservatório não conseguiu atender sua demanda plena), em contrapartida, diminuirá a vulnerabilidade dessas falhas (soma dos déficits de atendimento do período de falhas).

### 5.2.2 Águas subterrâneas

Uma das formas de aumentar a oferta hídrica de Fortaleza é a utilização de águas subterrâneas por meio de poços. O domínio dunas/paleodunas citado anteriormente como o aquífero de maior vocação aquífera podem ter suas águas captadas por poços rasos, com profundidade inferior a 20 metros, perfurados normalmente em 10'' e

revestidos em 6” e 4”, que produzem vazão médio de 6,0m<sup>3</sup>/hora mas, que pode alcançar até 15 m<sup>3</sup>/hora segundo Cavalcante (1998).

A Figura 47 expõe um perfil construtivo de um poço tubular raso, que retrata o projeto de poços para o domínio dunas/paleodunas. Ressalta-se que todos os campos de dunas estão susceptíveis a presença predominante de níveis arenosos com intercalações de níveis argilosos devido ao reflexo da variação da energia eólica de deposição.

Silva *et al.* (2007) apresentou a distribuição de poços e para os tipos litológicos aluvionar, cárstico, cristalino e sedimentar em todas as bacias hidrográficas do estado do Ceará conforme a tabela Tabela 12. Observa-se que a Região Metropolitana de Fortaleza não possui poços cárstico e conforme citado na seção 4, o município de Fortaleza não possuem seu espaço sobre o domínio cristalino. Os poços de aquífero sedimentar apresentam valores de capacidade de vazão a ser retirada e produtividade específica bem superiores àqueles localizados no cristalino. Porém, os coeficientes de variação dos primeiros são bem mais acentuados que os do cristalino. Mais, apesar de maior potencial para exploração, são necessários estudos mais aprofundados em áreas de embasamento sedimentar.

Outro aspecto importante diz respeito à profundidade. Os poços do cristalino são mais rasos. Também, comparativamente, os poços da província costeira são mais rasos e mais produtivos que os poços do cristalino. Isto sugere grande potencial de exploração.

O mesmo autor estimou os valores médios de vazão, profundidade, percentual de poços em operação, produtividade específica e condutividade elétrica das águas dos poços para Fortaleza (Tabela 13).

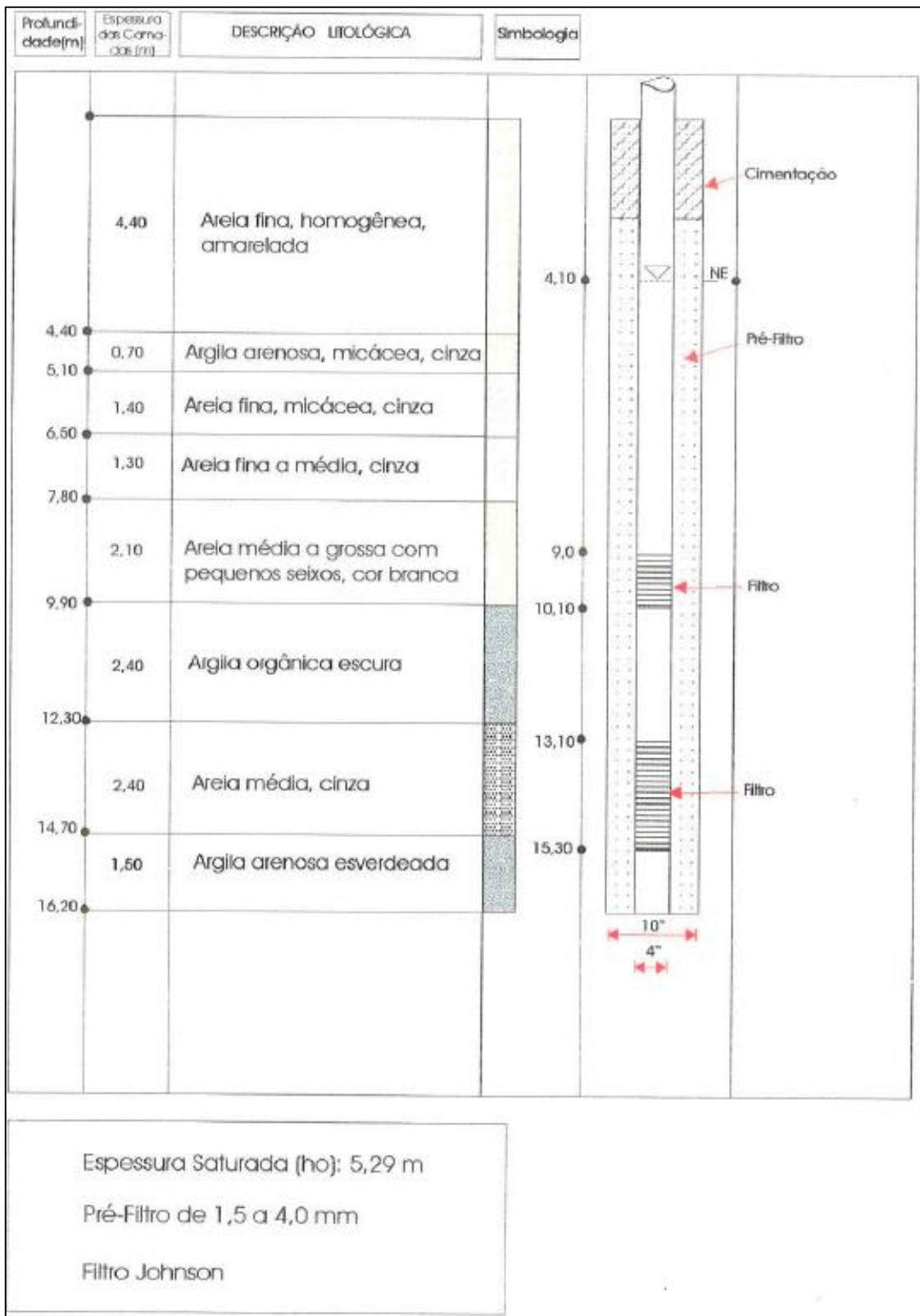


Figura 47. Perfil construtivo e litológico de poço tubular raso em Abreulândia, município de Fortaleza- CE.  
 Fonte: CAGECE/IPLANAT, 1978.

Tabela 12. Distribuição de poços nas bacias hidrográficas cearenses de acordo com o tipo litológico.

Bacia	Característica litológica dos poços (%)			
	Aluvionar	Cárstico	Cristalino	Sedimentar
Acaraú	11,1	-	13,1	10,7
Alto Jaguaribe	28,3	-	9,5	5,8
Banabuiú	20,1	-	11,7	0,1
Baixo Jaguaribe	2,4	93,0	3,8	11,7
Coreaú	0,9	-	3,6	4,5
Curu	4,0	-	9,0	4,2
Litoral	0,5	-	2,9	6,0
Metropolitana	1,7	-	29,1	21,0
Médio Jaguaribe	6,4	7,0	4,5	-
Parnaíba	23,2	-	8,2	8,1
Salgado	1,4	-	4,5	27,9

Fonte: Silva *et al.*, (2007).

Tabela 13. Valores médios das principais características de poços instalados em municípios do Ceará

Características dos poços	Fortaleza
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	2,75
Poços em operação (%)	96
Profundidade (m)	43,5
Qe (l/h.m)	142,7
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,71

Fonte: Silva *et al.*, (2007).

Vale ressaltar que os estudos relativos as águas subterrâneas são muito antigos e de fato não se sabe o real número de poços instalados em Fortaleza e nem o volume de reserva explotável. Vários parâmetros influenciam no cálculo de reservas das águas subterrâneas, tais como precipitação pluviométrica, tipo de aquífero, características dimensionais e hidrodinâmicas do meio e qualidade de água. Assim, no planejamento devem ser feitos associado a estudos de uso e ocupação do solo.

### 5.2.3 Reuso

O reuso de água no contexto da gestão integrada de águas urbanas tem dois papéis, o primeiro de aumentar a oferta hídrica e o segundo de reduzir o volume de esgoto.

Existem várias formas de reutilização de água, normalmente agrupados em reutilização potável, facultativa e não potável conforme Coutinho (2009).

A primeira diz respeito à reutilização da água para consumo humano. Esta aplicação é feita somente em casos críticos de escassez de água e implica elevados custos, devido ao elevado grau de tratamento necessário para evitar riscos na saúde pública nomeadamente devido à possibilidade de aparecimento de microrganismos patogénicos e de elementos químicos indesejáveis.

Na reutilização facultativa inclui-se a manutenção dos cursos de água e a recarga de aquíferos com águas de reuso.

A reutilização não potável pode englobar a reutilização industrial, em aquicultura, agrícola e urbana. Na reutilização industrial as águas residuais podem ser aproveitadas em atividades de refrigeração, construção pesada, lavagem de equipamentos e espaços públicos e em águas inerentes aos processos industriais (COUTIMHO, 2009). Para a aquicultura, os nutrientes contidos nas águas residuais podem ser utilizados para promover o crescimento de organismos aquáticos, aumentando a produtividade nos cultivos.

O uso de águas residuais na agricultura, denominado “Cultivo com águas negras”, é referido em Países como Austrália, França, Alemanha, Índia, Reino Unido e EUA, já no final do Séc. XIX. Nos últimos 20 anos verifica-se um interesse acrescido no uso destas águas para irrigação, principalmente em regiões áridas e semiáridas, dado a escassez de outras fontes de água e à necessidade de aumentar a produção de alimentos (OMS, 1989).

A reutilização urbana é caracterizada pela utilização das águas residuais domésticas tratadas em combate a incêndios, limpeza pública e residencial, jardinagem, manutenção de ar-condicionado, usos diversos na construção civil, desentupimento e lavagem de redes de águas residuais, manutenção de lagos decorativos e descarga de autoclismos, entre outros (Santos-Oliveira, 1995; Lazarova *et al.*, 2003).

Para fins urbanos, o reuso já é realizado em algumas companhias do setor de saneamento brasileiro que utilizam a água proveniente das estações de tratamento de esgotos (ETE Penha/CEDAE e ETE ABC/Sabesp), principalmente no consumo interno, na lavagem de centrífugas das próprias estações de tratamento ou na desobstrução e desentupimento de redes de esgotos sanitários e galerias pluviais (SANTOS, 2003).

No caso da utilização interna nas edificações, o reuso de águas cinza é o mais recomendável, já que essas águas possuem qualidade superior aos esgotos comuns. As águas cinza são os efluentes provenientes do uso de chuveiros, lavatórios, bidês, tanques

e máquinas de lavar roupas, excluindo os esgotos da cozinha e as águas negras, que são os efluentes das descargas dos vasos sanitários (HAFNER, 2007).

A reutilização de águas cinza tende a contribuir com a redução do consumo de água potável, do volume de contaminantes do solo e do volume de esgoto gerado apresentando-se como uma alternativa atrativa em termos econômicos e ambientais.

Nas edificações com reuso, o sistema hidro-sanitário é concebido de forma a coletar as águas residuárias segregadas em águas cinza e águas negras. Assim, as águas cinza e as águas negras (provenientes dos vasos sanitários) são coletadas por tubulações distintas e conduzidas a tratamento diferenciado. Esse processo de separação de efluentes por diferentes aparelhos hidro-sanitários foi denominado Saneamento Ecológico por Bazzarella (2005). Um exemplo desse processo pode ser visualizado na Figura 48.

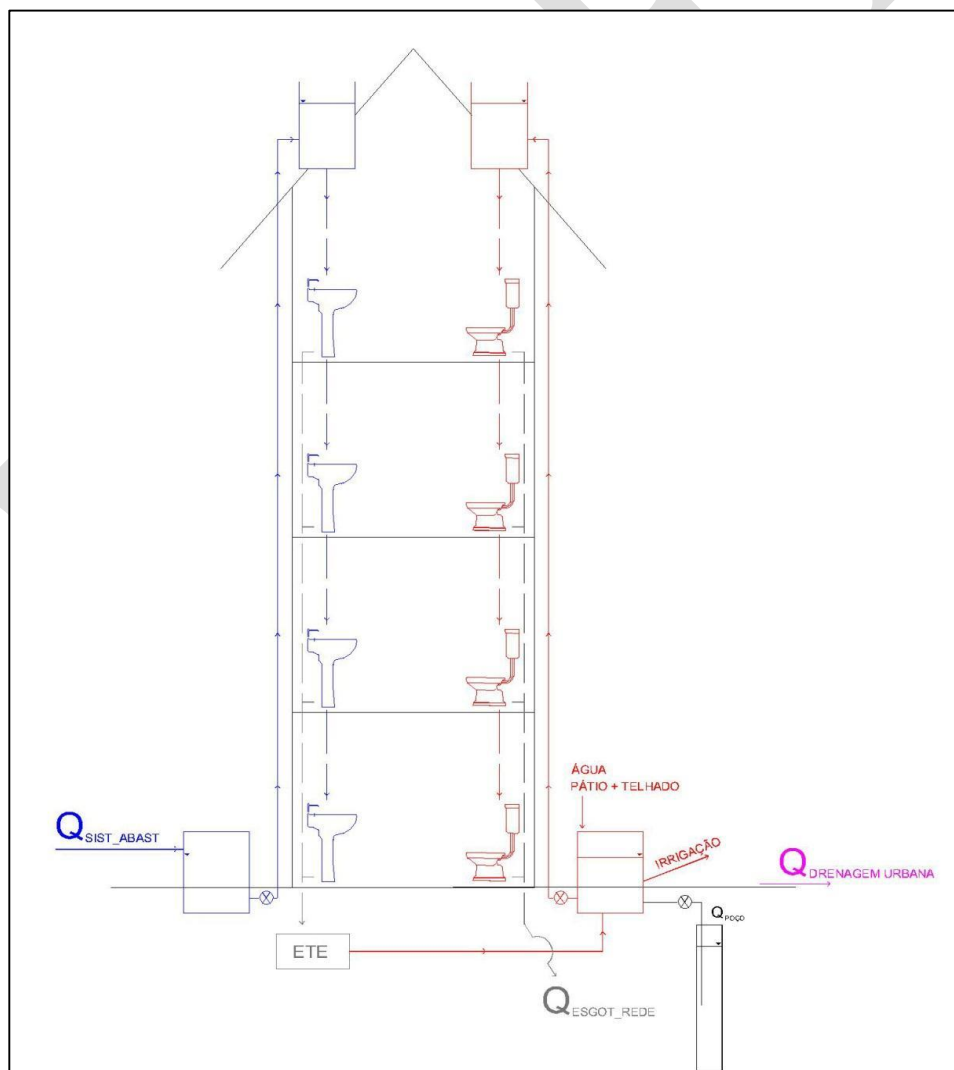


Figura 48. Exemplo de projeto de separação de esgoto.



Deste modo, considera-se para Fortaleza 2040 a possibilidade de reutilização de água de três maneiras: reutilização de águas cinza nos lotes urbanos, reutilização na Estação de Tratamento de esgoto para recarga de rios urbanos e reutilização do emissário submarino para uso industrial.

O emissário submarino de Fortaleza foi construído na década de 70 e tem a função de transferir para o oceano todo o esgoto coletado da estação de Pré-Condicionamento de Esgoto. É constituído por uma tubulação de 1.500 mm em aço revestido por concreto e apresenta um comprimento de 3.205 m. Nos 600 metros finais do mesmo, estão localizados 120 difusores na extremidade do emissário com 10 cm de diâmetro a uma profundidade de 16 m (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2014a).

O tratamento dos efluentes lançados no oceano se dá por três fases distintas, utilizando-se a capacidade de autodepuração das águas marinhas: dispersão, que ocorre quando os esgotos são expelidos pelos difusores; diluição, que ocorre por conta da diferença de densidade da água salgada e doce e decaimento bacteriano, onde bactérias contidas no esgoto não sobrevivem ao ambiente marinho.

Fortaleza lança através do interceptor oceânico 2 a  $3\text{m}^3/\text{s}$  de esgotamento. A proposição de reutilização desse efluente tinha sido feita inicialmente pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará no Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas (COGERH, 1998). Nesta proposta, a reutilização do esgotamento sanitário de Fortaleza que é lançado no mar seria um reforço para o abastecimento de indústrias do Porto do Pecém. A distância média de 35 km do ponto final de concentração de esgotos domésticos até a estação da CAGECE no porto do Pecém é de 35 km.

#### 5.2.4 Água de chuva

O aproveitamento de água de chuvas ressurgiu nos grandes centros urbanos sob duas motivações: a conservação de água no abastecimento público e a obrigatoriedade de acúmulo de água de chuva em locais com grandes áreas impermeabilizadas como tentativa de evitar picos de cheias durante eventos de chuvas intensas (ZANELLA, 2015).

De modo geral, os sistemas de aproveitamento de água de chuva possuem três componentes: a superfície de captação da água, o sistema de condução e o reservatório de armazenamento. Em relação as características hidráulicas dos fluxos, esses sistemas

podem ser construídos de quatro formas segundo Herrmann e Schmida (1999), são elas: sistema com fluxo total, com derivação, com volume adicional de retenção e com infiltração no solo (Figura 49).

No sistema com fluxo total, todo o fluxo é destinado a um dispositivo de gradeamento e filtragem, e depois ao reservatório sendo que o sistema irá contribuir para a rede pluvial apenas quando o reservatório estiver cheio. No sistema com derivação são instalados dispositivos que derivam o escoamento de modo que os detritos e sedimentos sejam destinados à rede pluvial. Já o terceiro tipo diferencia-se primeiro por possuir um volume de retenção onde a água é armazenada temporariamente e escoada lentamente para a rede pluvial, amortecendo, assim, a vazão lançada à rede. O sistema com infiltração é considerado, de forma ampla, o mais adequado, pois independe da existência e das condições da rede pluvial, e recarrega os reservatórios de água subterrânea contribuindo para o restabelecimento dos fluxos hidrológicos naturais.

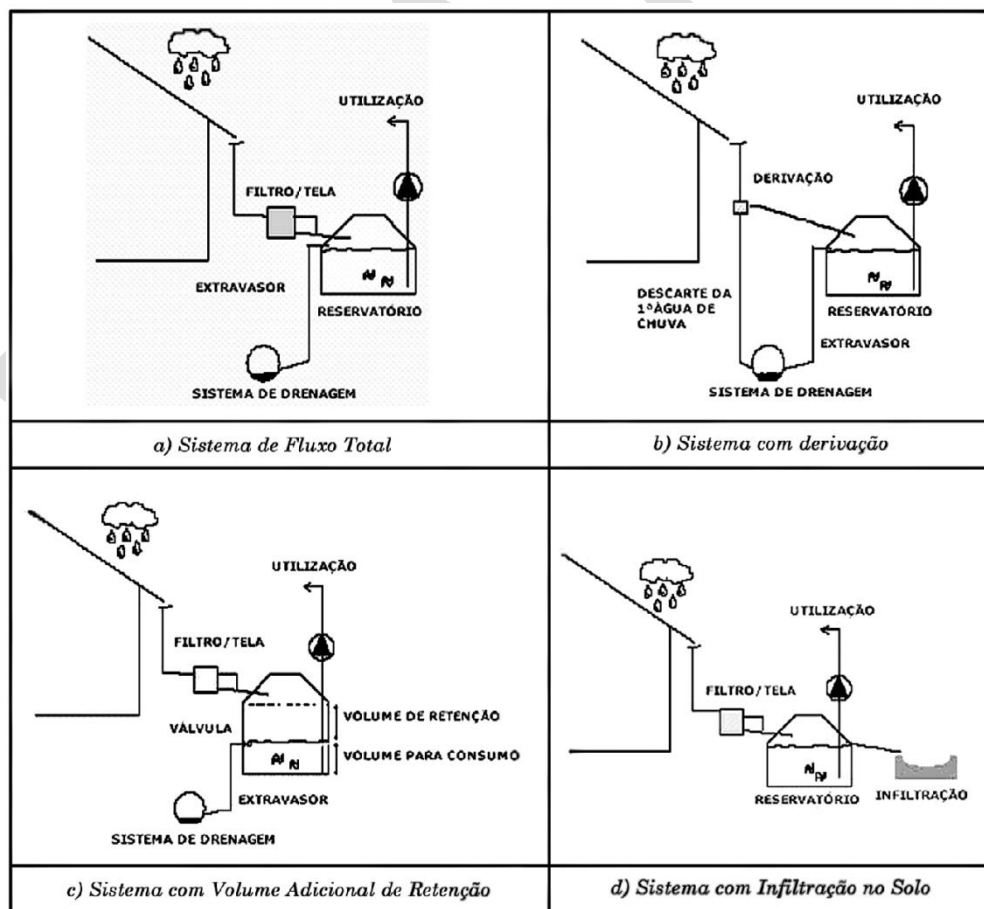


Figura 49. Formas construtivas de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Fonte: Herrmann e Schmida (1999).

O volume de água a ser aproveitado nos sistemas não é o mesmo que é precipitado. Esse volume vai depender tanto da quantidade precipitada quanto do tipo e da área de cobertura nos lotes urbanos (área de captação).

A superfície de captação em lotes urbanos geralmente são telhados, mas podem incluir outras áreas pavimentadas. Os telhados em geral são de folhas de ferro galvanizado (FFGs), telhas de cerâmica de barro ou de folhas de amianto.

Devido ao material da cobertura utilizada pode ocorrer perdas de água por vazamento, por saturação bem como por evaporação que são praticamente constantes. As perdas são representadas por um coeficiente de escoamento que indica a parcela efetiva da precipitação que é transformada em escoamento. Conforme Dornelles (2012), o projetista deve ponderar a determinar do coeficiente de escoamento. Para o caso de sistemas utilizados para o abastecimento deve-se optar por um valor mais baixo e para atuar como um dispositivo de redução de alagamentos estima-se um valor mais alto. Os coeficientes apresentados na literatura científica tende a variar de 0,75 a 0,95.

O material utilizado na superfície de captação pode contribuir para a contaminação físico-química da água enquanto o acesso de pessoas e animais colabora para o aumento da contaminação biológica. Conforme Heijnen (2015, p. 81), a qualidade da água pode variar também dependendo da poluição atmosférica (exausto de veículos ou de fuligem de cozinha ou queimadas), limpeza da superfície de captação, uso de tela, ou método de filtração e armazenamento podendo ser classificada segundo o grau de purificação conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14. Variação da qualidade da água da chuva devido à área coletada.

<b>Grau de purificação</b>	<b>Área de coleta de chuva</b>	<b>Observações</b>
A	Telhados (lugares não ocupados por pessoas e animais)	Se a água for purificada pode ser consumida
B	Telhados (lugares freqüentados por pessoas e animais)	Usos não potáveis
C	Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento	Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento
D	Estradas	Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento

Fonte: Group Raindrops (1995).

O sistema de condução da água desde a superfície de captação até o reservatório de armazenamento inclui as calhas coletoras, os tubos de descida e de entrada e saída. A contaminação pode ser evitada pelo do uso de materiais não tóxicos e da limpeza

frequente das calhas para evitar o acúmulo de água e de matéria orgânica (COHIM, *et al.*, 2015, p.203). Os reservatórios podem estar apoiados no solo, enterrados, semi-enterrados ou elevados; ser construídos de diferentes materiais, como concreto armado e fibra de vidro e ter diversas formas. A escolha do local de instalação do reservatório, do modelo e do material a ser utilizado deve levar em consideração as condições do terreno e da disponibilidade de área.

Para Thomas e Martinson (2007), a contaminação nos sistemas de aproveitamento de água de chuva pode ocorrer a partir das seguintes rotas:

- i. Durante o evento chuvoso, ao passar pela atmosfera (deposição úmida);
- ii. Deposição seca de contaminantes na superfície de coleta durante os períodos sem chuva;
- iii. Reação química ou física da água de chuva com a superfície de coleta;
- iv. Fezes de pássaros e animais depositadas sobre a superfície de captação;
- v. Entrada de animais no reservatório de armazenamento;
- vi. Infiltração através de trincas no reservatório de armazenamento permitindo a entrada de água contaminada.

As rotas de contaminação citadas anteriormente indicam os pontos para introdução das barreiras sanitárias inclusive aquelas de natureza passiva já que unidades do próprio sistema de captação de água de chuva são, por si próprias, barreiras sanitárias que reduzem a contaminação.

Assim, para os sistemas de aproveitamento de água de chuva de Fortaleza forneçam uma água segura, inclusive para beber indica-se o a construção de Plano de Segurança da Água (PSA) conforme preconizado no documento *Water Safety Plans, Managing drinking - water quality from catchment to consumer* (WHO, 2005). O PSA privilegia a prevenção, ao invés da abordagem de fim de tubo cuja lógica é tentar resolver o problema consumado tratando a água.

#### 5.2.5 Dessalinização

A dessalinização da água do mar para produção de água potável vem se difundido em vários países do mundo, especialmente aqueles com problemas de escassez hídrica. De acordo com Souza (2006), muitos países no Oriente Médio identificaram a dessalinização da água do mar como a solução disponível para o problema da escassez de água.

Os processos para dessalinização vão desde a tradicional destilação (ebulição seguida de condensação) até os mais modernos métodos de eletrodialise e osmose reversa, passando por outros como o congelamento e a evaporação por diferencial de pressão. Contudo, as plantas dessalinizadoras mais recentes têm utilizado a técnica de osmose reversa, por apresentar custos de instalação e de operação mais baixos.

A osmose reversa também conhecida como inversa é consiste na separação de sais presentes na água através de um efeito de pressão superior à pressão osmótica, sobre uma membrana semipermeável.

De forma prática, a água salina é bombeada para um recipiente fechado onde é pressurizada contra a membrana. Como uma parte da água passa através da membrana, a água remanescente aumenta a concentração de sal. Ao mesmo tempo, uma parte desta água é escoada sem passar através da membrana. A bomba de alta pressão é o equipamento que fornece a pressão necessária para permitir à água passar pela membrana e ter os sais rejeitados. Esta pressão varia de 5,4 a 8,0N/m<sup>2</sup> para a água salgada (SOARES, 2006).

Segundo Juan (2000), dois aspectos são fundamentais nesse processo: a existência de fonte de energia para vencer o potencial osmótico da água salina, ou seja, para 'inverter a direção' que ocorreria na osmose, e a qualidade da membrana semipermeável que irá separar os sais. Isto porque, as membranas semipermeáveis são frágeis e variam em sua capacidade de passar água doce e rejeitar a passagem de sais. Nenhuma membrana é perfeita na sua capacidade de rejeição de sais, de forma que uma pequena quantidade de sais passa através da membrana e aparece na água produto.

Uma usina utilizando essa técnica opera no Brasil, na ilha de Fernando de Noronha desde 1999. Inicialmente a usina tinha capacidade de dessalinizar 16m<sup>3</sup>/hora, mas, passou por três ampliações passando para uma capacidade de 54,2m<sup>3</sup>/hora (SURIANI; PRADO, 2011)

O custo do metro cúbico de água potável produzida por dessalinização (Figura 50) varia de US\$ 0,45/m<sup>3</sup> em Singapura até US\$1,48/m<sup>3</sup> nas Bahamas com um valor médio de US\$0,78/m conforme Silveira *et al.* (2015, p. 41). Essa variação é explicada por diversos fatores como o tipo de processo utilizado, o custo de energia e a capacidade volumétrica de produção.

Usina e localização	US\$/m <sup>3</sup>	Operando?	Ano	Fonte e data da pesquisa
Ashkelon (Israel)	0,54	Sim	2002	EDS (2004), Segal (2004), Zhou e Tol (2005)
Ashkelon (Israel)	0,53	Sim	2003	NAS (2004)
Ashkelon (Israel)	0,55	Sim	2004	Wilf e Bartels (2005)
Ashkelon (Israel)	0,62	Sim	2005	Red Herring (2005), Semiat (2000, 2006)
Ashkelon (Israel)	0,53	Sim	2006	Black... (2006)
Bahamas	1,48	Sim	2003	NAS (2004)
Carlsbad, Califórnia (EUA) (Poseidon)	0,77	Sim	2005	Gallagher (2005)
Dhekelia (Chipre)	1,09	Sim	1996	Segal (2004)
Dhekelia (Chipre)	1,43	Sim	2003	NAS (2004)
Eilat (Israel)	0,74	Sim	1997	Wilf e Bartels (2005)
Hamma (Argélia)	0,84	Sim	2003	EDS (2004), Segal (2004), Zhou e Tol (2005)
Lamaca (Chipre)	0,75	Sim	2000	Segal (2004)
Lamaca (Chipre)	0,85	Sim	2003	NAS (2004)
Lamaca (Chipre)	0,85	Sim	2001	Wilf e Bartels (2005)
Moss Landing, Califórnia (EUA)	1,28	Sim	2005	MPWMD (2005)
Moss Landing, Califórnia (EUA)	0,96	Sim	2005	MPWMD (2005)
Perth (Austrália)	0,92	Sim	2005	WT (2006)
Singapura	0,46	Sim	2002	Segal (2004)
Singapura	0,45	Sim	2003	NAS (2004)
Singapura	0,49	Sim	2006	Black... (2006)
Tampa Bay, Flórida (EUA)	0,55	Não	2003	Segal (2004)
Tampa Bay, Flórida (EUA)	0,58	Sim	2003	Wilf e Bartels (2005)
Tampa Bay, Flórida (EUA)	0,66	Sim	2004	Arroyo (2004)
Trinidad	0,73	Sim	2004	Segal (2004)
Trinidad	0,74	Sim	2003	NAS (2004)
<b>Média</b>	<b>0,78</b>			

Figura 50. Custos de produção de água potável em usinas de dessalinização de água do mar.

Fonte: Silveira *et al.* (2015, p.42).

COGERH (2006) realizou uma análise econômico-financeira a fim de dimensionar o tamanho ótimo de uma planta a ser instalada no Porto do Pecém. Com isso, ela estimou um investimento de 8.020.000,00 de reais, 5.323.250,00 de reais e 3.561.012,50 reais para as plantas com tamanhos de 20l/s, 10l/s, 5l/s (Tabela 15), respectivamente. Além disso, determinou que o custo unitário para a recuperação de 100% dos investimentos em uma planta de 20l/s seria de R\$ 1,11 (Tabela 16) e que o custo unitário total da água produzida nessa planta seria de R\$ 3,53 (Tabela 17).

Tabela 15. Custos de Investimentos por tamanho de planta dessalinizadora.

<b>Especificação</b>	<b>Investimentos (R\$ 1,00) / Tamanho da Planta</b>		
	<b>20 l/s</b>	<b>10 l/s</b>	<b>5 l/s</b>
<i>Sistema de Captação de Água Marinha</i>	880.000,00	616.000,00	431.200,00
<i>Adutora de Água Salgada</i>	590.000,00	413.000,00	289.100,00
<i>Reservatório de Água Salgada</i>	340.000,00	238.000,00	166.600,00
<i>Estação Reelevatória de Água Salgada</i>	180.000,00	126.000,00	88.200,00
<i>Sistema de Osmose Reversa com Recuperação de Energia</i>	3.520.000,00	2.112.000,00	1.267.200,00
<i>Reservatório de Água Produzida (permeado)</i>	380.000,00	266.000,00	186.200,00
<i>Emissário do Concentrado</i>	505.000,00	353.500,00	247.450,00
<i>Construções Civas</i>	1.225.000,00	918.750,00	689.062,50
<i>Sistema Elétrico</i>	400.000,00	280.000,00	196.000,00
<b>Total</b>	<b>8.020.000,00</b>	<b>5.323.250,00</b>	<b>3.561.012,50</b>

Fonte: COGERH (2006).

Tabela 16. Recuperação de Investimento por tamanho de planta.

<b>Especificação</b>	<b>Valor (R\$ 1,00) / Tamanho da Planta</b>		
	<b>20 l/s</b>	<b>10 l/s</b>	<b>5 l/s</b>
Custo do m <sup>3</sup> para recuperação de 100% do investimento	1,11	1,47	1,97
Custo do m <sup>3</sup> para recuperação de 25% do investimento	0,28	0,37	0,49

Fonte: COGERH (2006).

Tabela 17. Custo unitário total da água produzida.

<b>Especificação</b>	<b>Custo Unitário (R\$/m<sup>3</sup>) / Tamanho de Planta</b>		
	<b>20 l/s</b>	<b>10 l/s</b>	<b>5 l/s</b>
<i>Custo com recuperação de 100% do investimento</i>	3,53	4,64	5,93
<i>Custo com recuperação de 25% do investimento</i>	2,49	3,25	4,13
<i>Custo sem recuperação do investimento</i>	2,14	2,80	3,51

Fonte: COGERH (2006).

Silveira *et al.* (2015, p.43) também comparou o valor médio em dólar obtido por dessalinização e o valor médio cobrado pela SABESP para consumidor residencial normal da faixa de consumo de 11m<sup>3</sup> a 20 m<sup>3</sup> e avaliou que essa tecnologia seria viável no Brasil. Ressalta-se ainda que, os processos de dessalinização de água do mar não são afetados pela variabilidade climática assim, esta pode ser uma solução viável para regiões com pouca disponibilidade hídrica acarretadas por secas historicamente severas como o Nordeste Brasileiro

Com base no exposto aponta-se a dessalinização com uma das alternativas da gestão integrada de águas urbanas. A planta a ser instalada em Fortaleza pode captar água diretamente do mar e utilizar tecnologia da filtração por membranas semipermeáveis, através do processo de osmose reversa com sistema de pré-tratamento

para retenção das partículas coloidais, orgânicas e inorgânicas, para minimizar o risco de incrustamento (*fouling*) na superfície das membranas.

### 5.2.6 Tratamento, distribuição e perda de água

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2013), um dos principais desafios das operadoras de água em países em desenvolvimento é reduzir as perdas de água no abastecimento. Um sistema convencional de abastecimento de água (FIGURA 51) é constituído pelas seguintes unidades: Captação; Estação Elevatória; Estação de Tratamento de Água (ETA); Adução de Água; Reservação; e Setor de distribuição.

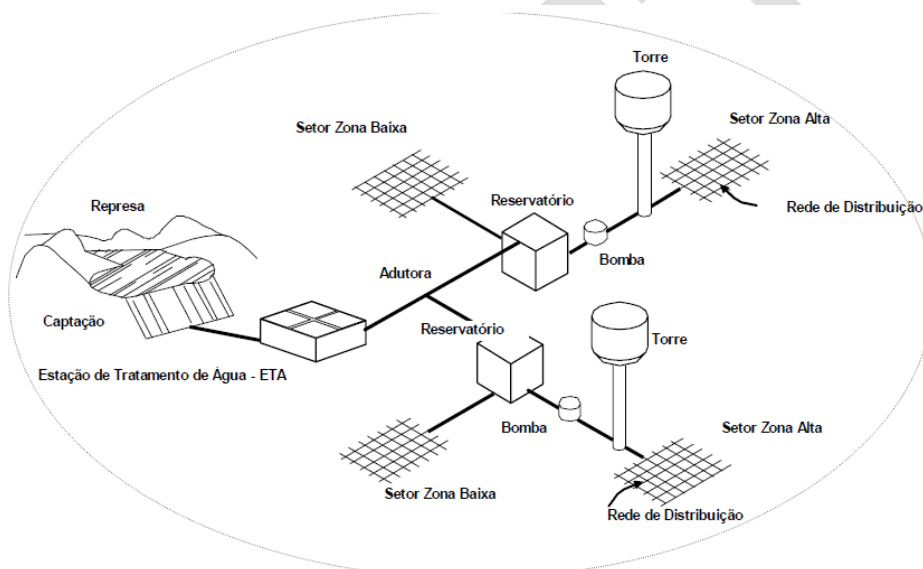


Figura 51. Sistema de abastecimento de Água típico.  
Fonte: Soares (2004).

Em Fortaleza, a captação é realizada no açude Gavião por meio de torre de tomada, galeria e canal. Este manancial superficial faz parte do sistema local de abastecimento de água bruta estando integrado aos açudes Pacoti/Riachão, Pacajus, Aracoiaba, conforme já comentado em seções anteriores.

As estações de tratamento de água correspondem ao conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade. A principal função do tratamento é a redução de impurezas e a eliminação de substâncias que tornam a água inadequada para o uso humano, tais como bactérias e vírus. Fortaleza possui atualmente uma capacidade máxima de tratamento de água de 11,5m<sup>3</sup>/s sendo 10,0m<sup>3</sup>/s da ETA Gavião e 1,5m<sup>3</sup>/s da ETA Oeste 1ª Etapa.



A ETA Gavião opera em regime de 24 h /dia, sincronizando sua vazão operacional com o nível do reservatório do Ancuri e com o horário sazonal de energia (horário de ponta ou fora de ponta), o que implica na sua operação em três níveis de vazões: 4,9 m<sup>3</sup>/s; 6,7 m<sup>3</sup>/s e 7,8 m<sup>3</sup>/s, tendo como vazão média diária de 8,3m<sup>3</sup>/s. Funciona com filtração direta descendente de alta taxa, tendo mais de mais oito filtros em operação (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2014b).

A ETA Oeste destina-se a atender as demandas hídricas da zona oeste da Região Metropolitana de Fortaleza utilizando o mesmo manancial da ETA gavião. Ela teve sua primeira etapa inaugurada, no final de 2012, e a partir de fevereiro de 2013, iniciou sua operação 24h por dia. Atualmente, funcionam seis filtros, por meio de filtração direta descendente, com uma vazão que varia entre 0,75-1,5m<sup>3</sup>/s. Para a 2º fase da 1º etapa, está prevista a inclusão de filtros ascendentes de areia grossa - FAAGs, obtendo-se, assim, a dupla filtração (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2014b).

As estações elevatórias de água tratada – EETA são utilizadas para recalcar a água que passou pela ETA e armazenar no reservatório de água tratada. Em Fortaleza tem-se três: duas na ETA Gavião (Gavião Novo e Gavião Velho) e uma na ETA Oeste.

O uso de reservatório de água tratada é um recurso adotado em praticamente todos os SAAs. A água é armazenada em reservatórios com a finalidade de manter a regularidade do abastecimento (compensar a diferença entre o pico de demanda dos consumidores e a adução), promover condições de abastecimento contínuo durante períodos curtos de paralização do abastecimento, armazenar água para combate a incêndios, regularizar as condições de operação das estações elevatórias e condicionar as pressões disponíveis nas redes hidráulicas.

Os reservatórios do Ancuri constituem-se no principal centro de reservação do sistema de abastecimento integrado de Fortaleza, a partir do qual a água é aduzida por gravidade até a maioria dos setores de distribuição. A partir desse reservatório iniciam-se as 79 linhas do macrossistema de distribuição de água que alimentam, por gravidade, a maioria dos setores de distribuição do Município de Fortaleza, exceto o setor de distribuição de Mucuripe. Além dos reservatórios diretamente associados às ETA's, existem 18 reservatórios distribuídos nos setores de abastecimento, incluindo reservatórios ativos atualmente e desativados.

A rede de distribuição é a unidade do SAA constituída de um conjunto de conexões, peças especiais e condutos assentados nas vias públicas ou nos passeios, aos quais se conectam os ramais domiciliares. Dessa forma, a função da rede de distribuição

é conduzir as águas tratadas aos pontos de consumo (usos doméstico, industrial e público), de forma contínua, em qualidade, quantidade e pressão recomendadas.

Nas redes de distribuição têm-se dois tipos de condutos: principais e secundários. Os condutos principais, troncos ou mestres, são as canalizações de maior diâmetro, responsáveis pela alimentação dos condutos secundários. Efetuem o abastecimento de extensas áreas da cidade. Os condutos secundários, de menor diâmetro (usualmente 50 e 75mm), são os que estão em imediato contato com os prédios a abastecer, sendo responsáveis pelo abastecimento dos pontos de consumo.

Conforme a disposição dos condutos principais, as redes podem ser classificadas como: redes ramificadas ou malhadas. As redes ramificadas são aquelas em que os condutos principais são traçados a partir de um conduto principal central, com disposição ramificada, como sugere sua denominação. É um sistema típico de cidades ou setores que têm uma dimensão mais pronunciada. As redes ramificadas são calculadas de montante para jusante. Tendo todas as suas características hidráulicas assim obtidas. Nelas, a circulação da água faz-se praticamente em um único sentido. Uma interrupção acidental em um conduto tronco prejudica sensivelmente as áreas situadas a jusante do local em que ocorreu o acidente.

A rede de distribuição do Município de Fortaleza tem, em média, 4.667 km de extensão, com um índice de cobertura de água de 98,49%. O sistema de distribuição integrado tem como pontos de partida: o centro de reservação do Ancuri, alimentado pela estação elevatória de água tratada, o Gavião e reservatório encontro da linha adutora de água tratada do Gavião Velho com a antiga linha adutora do açude Acarape. A partir deste ponto a adutora do Acarape passa a fazer parte das linhas de transferência. As adutoras que partem destes dois locais alimentam a entrada de água em cada setor de distribuição e atendem a totalidade dos municípios de Fortaleza, Eusébio e partes dos municípios de Maracanaú, Caucaia, Itaitinga e Pacatuba (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2014b).

A confiabilidade do sistema de abastecimento passa pela arquitetura dessa rede. Para grandes sistemas deve-se prover água por mais de um caminho para um determinado usuário como forma de prevenir contra potenciais falhas em um trecho da rede devido à manutenção ou rompimento de tubulações.

As redes de distribuição e os ramais prediais são os componentes do sistema de abastecimento de água onde ocorrem o maior número de vazamentos e o maior volume perdido de água, por causa principalmente da sua extensão e condições de operação.

Para muitos sistemas, os vazamentos nos ramais (tubos de pequeno diâmetro) representam o maior número de vazamentos encontrado nas redes hidráulicas, especialmente, em sistemas com uma elevada densidade de ramais. Isso ocorre pela má qualidade dos materiais aplicados e instalações inadequadas.

As perdas nos sistemas de abastecimento de água incluem duas categorias (ABES, 2013):

- ✓ A “perda de água física” ou “real”, quando o volume de água disponibilizado no sistema de distribuição pelas operadoras de água não é utilizado pelos clientes, sendo desperdiçado antes de chegar às unidades de consumo;
- ✓ A “perda de água comercial” ou “aparente” quando o volume utilizado não é devidamente computado nas unidades de consumo, sendo cobrado de forma inadequada.

As perdas reais representam o volume efetivamente perdido no sistema. Elas são decorrentes de vazamentos que ocorrem nas tubulações das adutoras e nas redes de distribuição, nos ramais das ligações prediais, nas ETAs e nos extravasamentos de reservatórios. São inerentes a todos os sistemas de abastecimento de água. Não é possível zerar esse tipo de perda, porém o volume de perdas reais na maioria dos sistemas do Brasil é significativamente mais elevado do que o justificável.

As perdas aparentes representam a parcela de perda total que não é causada por vazamentos e extravasamentos nos reservatórios. Em comparação com as perdas reais, estas têm um efeito negativo muito maior sobre o orçamento das companhias, pois, além do gasto com a produção, perde-se o valor agregado à água entregue. São causadas principalmente por: erros de medição e leitura, erros cadastrais ou na contabilidade do consumo de água e pelo consumo não autorizado.

O erro de medição (submedição) é uma das principais causas das perdas aparentes nas companhias de saneamento e ocorrem por diversos motivos. A ocorrência de uma ampla gama de medidores, que variam de tamanho, tipo e classe, juntamente com uma vasta variação de padrões de consumo existentes nos sistemas urbanos, dificulta a correta especificação dos medidores pelos profissionais.

Já a perda pelo consumo não autorizado está relacionada com ligações clandestinas e o uso fraudulento de água de descargas e hidrantes.

Compreender os tipos de perdas de água que ocorrem nos sistemas e ter definições consistentes e claras é o primeiro passo para um técnico ser capaz de gerenciar os problemas das perdas de água. Com isso, a International Water Association

(IWA) propôs um modelo de caracterização das perdas em sistemas abastecimento de água. Este modelo está exposto no Quadro 3.

Teoricamente, deve haver um equilíbrio entre o volume de água disponibilizado e o volume retirado do sistema. O controle dessa relação, denominado Balanço Hídrico, é feito por meio de uma planilha quantitativa, onde se detalha os diversos tipos de consumo e de perdas que ocorrem no sistema de abastecimento de água. Todos os seus componentes devem ser expressos em termos volumétricos, para efeitos de comparação, e quantificados sobre o mesmo período, de 12 meses, para dispensar o efeito de sazonalidades e diferenças de apuração nos volumes macro e micromedidos.

Por iniciar a avaliação das perdas por meio do cálculo do balanço hídrico de ‘cima para baixo’, ou seja, pelo volume de água que entra no sistema menos o volume de água efetivamente consumido, o balanço hídrico é conhecido como aplicação Top-Down. Neste método, são feitas hipóteses para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, chega-se então as estimativas de perdas reais.

Quadro 3. Modelo de Caracterização das Perdas no Sistema de Abastecimento de Água.

Volume Produzido	Consumos Autorizados	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados	Águas Faturadas
			Consumos não-medidos faturados (estimados)	
		Consumos Autorizados Não Faturados	Consumos medidos não-faturados (usos próprios, caminhão-pipa etc)	Águas Não-Faturadas
			Consumos não-medidos, não-faturados (corpo de bombeiros, favelas etc)	
	Perdas de Água	Perdas Aparentes	Consumos não-autorizados (fraudes e falhas de cadastro)	Águas Não-Faturadas
			Imprecisão dos medidores (hidrômetros)	
Perdas Reais		<b>Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição</b>		
	<b>Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro</b>			
	<b>Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos e reservatórios de distribuição</b>			

Fonte: Adaptado de IWA/Blue Pages, 2000.

A *International Water Association* (IWA, 2000) definiu os limites para os volumes das perdas em um sistema:

- ✓ limite econômico - a partir do qual se gasta mais para reduzir as perdas do que o valor intrínseco dos volumes recuperados (varia de cidade para cidade, em função das disponibilidades hídricas, custos de produção, etc.);
- ✓ limite técnico ("perdas inevitáveis") - definido pelo alcance das tecnologias atuais dos materiais, ferramentas, equipamentos e logísticos, ou, em outras palavras, nunca haverá perda zero, sempre teremos de conviver com algum volume perdido, por mais bem implantado e operado que seja um sistema de abastecimento.

Assim, o volume mínimo de perdas de água que um sistema pode ter é chamado de perdas inevitáveis (Figura 52). A diferença entre a perda existente e a perda inevitável representa o volume de perdas potencialmente recuperável.

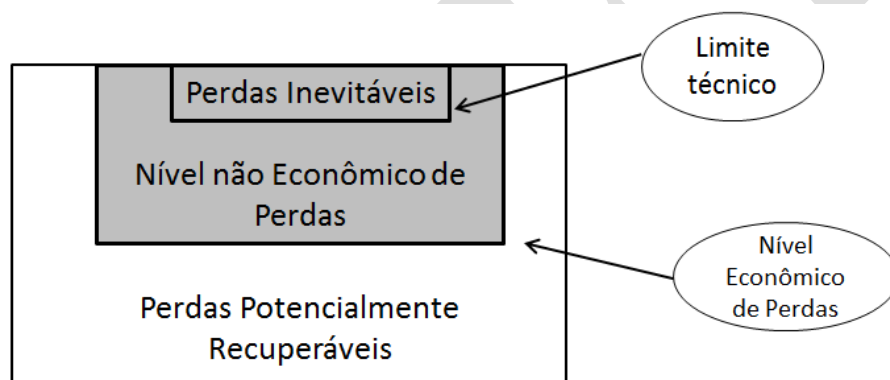


Figura 52. Níveis de perdas (reais e aparentes).

Fonte: IWA Water Loss Task Force and AWWA Water Loss Control Committee

O nível econômico de perdas pode ser definido como a situação em que o custo marginal do controle de perdas equilibra o custo marginal de água perdida. Sobre as perdas reais recaem os custos de produção e distribuição da água, e sobre as perdas aparentes, os custos de venda da água no varejo, acrescidos dos eventuais custos da coleta de esgotos. O nível econômico ótimo de vazamentos e o nível mínimo de vazamentos estão apresentados na Figura 53.

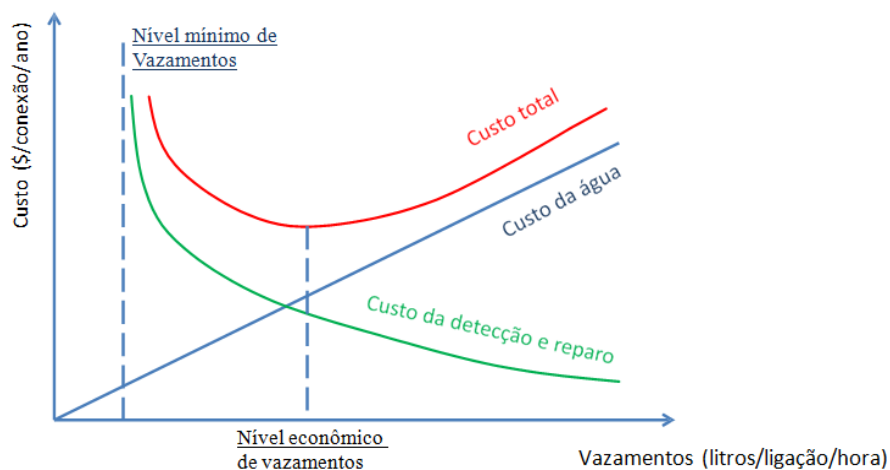


Figura 53. Custo total decorrentes da perda de água.

Fonte: Adaptado de EPA (2010).

Segundo a ABES (2014), nas operadoras cobertas pelo *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities – IBNET*, a média de perdas de água constatada foi de 35%. Entretanto, como grandes países em desenvolvimento ainda não são cobertos pelo IBNET e as estatísticas desses países não são confiáveis<sup>2</sup>, é mais provável que o nível médio de perdas de água em países em desenvolvimento gire em torno de 40-50%.

O Banco Mundial também definiu indicadores de perdas físicas (*Infrastructure Leakages Index – ILI*) associados a bandas em que as empresas deverão se balizar na busca da redução das perdas (em Litros/ligação.dia), considerando aspectos operacionais do sistema (pressões) e estágio econômico do país, conforme a Figura 54. Países em desenvolvimento, com uso muito ineficientes de recursos e pressão muito elevada podem economizar mais de 1000 litros por ligação.dia.

Categoria de performance técnica	ILI	litros/ligação/dia (quando o sistema está pressurizado) numa pressão média de:					
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	
Pais Desenvolvido	A	1 - 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Pais em Desenvolvimento	A	1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

<b>A</b>	Redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva
<b>B</b>	Potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão, práticas melhores de controle ativo de vazamentos, e uma melhor manutenção da rede
<b>C</b>	Registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos
<b>D</b>	Uso muito ineficiente dos recursos; programa de redução de vazamentos é imperativo e altamente prioritário

Figura 54. Bandas de referência para a redução de perdas.  
Fonte: Banco Mundial apud ABES (2013).

Na Tabela 18 observa-se que no período de 2009 a 2012, o Índice de Perdas de Fortaleza aumentou de 35,23% para 35,90%. Nota-se, também, que a média prevista não foi alcançada em nenhum dos anos. Vale ressaltar que a projeção para 2040 é de se obter um índice de 25%.

Tabela 18. Índice de perda de Fortaleza (meta anual prevista e índice real).

Ano	Meta (%)	Medido (%)
2009	35,00	35,23
2010	34,42	35,70
2011	34,67	36,67
2012	33,57	35,90

Fonte: Prefeitura de Fortaleza, 2014b.

Deste modo, percebe-se que o combate aos vazamentos constitui uma tarefa contínua. Independentemente do nível de perda que o sistema se enquadre, a permanência das ações é importantíssima para a manutenção dos bons índices.

A metodologia mais aceita pela comunidade técnica para o controle das perdas considera que o volume de perdas reais pode ser significativamente reduzido através da implementação de quatro ações: controle de pressão, rapidez e qualidade dos reparos, controle ativo de vazamentos e gestão de infraestrutura. Essas ações podem ser visualizadas na cruz de perdas reais (Figura 55) de Thornton (2002).

No modelo proposto (Figura 55), o retângulo representa o volume de perdas físicas de um sistema de distribuição que permanece constante pela combinação das quatro atividades de controle. Se intensificadas as ações de controle de perdas, o volume perdido tende a atingir seu ponto de viabilidade econômica, ou seja, o retângulo maior se iguala ao retângulo “nível econômico de perdas” e, a partir desse ponto, não é mais interessante economicamente aumentar os recursos investidos. Salvo interesses econômicos, mantidas as ações intensivas, pode-se buscar atingir o limite das perdas inevitáveis, a partir desse ponto não é mais possível reduzir perdas com as técnicas e tecnologias existentes atualmente. Por outro lado, se há um relaxamento de uma das atividades de controle, as dimensões do retângulo (perdas reais) tendem a aumentar (Thornton, 2002).

A influência da pressão nas perdas reais é conhecida há muito tempo pelos pesquisadores e técnicos das companhias de saneamento. É facilmente perceptível que a taxa do fluxo de água em um vazamento é maior quanto maior for a pressão. Assim, a gestão de pressão é quase sempre recomendada para o combate a perdas reais.

De modo geral, uma diminuição de 10% na pressão em grandes sistemas implica em uma redução aproximada de 12% no volume perdido por vazamentos. Porém, deve-se levar em conta que cada sistema de distribuição de água tem suas próprias características e deve ser analisado individualmente, de maneira que a solução ótima considere aspectos técnicos, financeiros, ambientais e sociais.



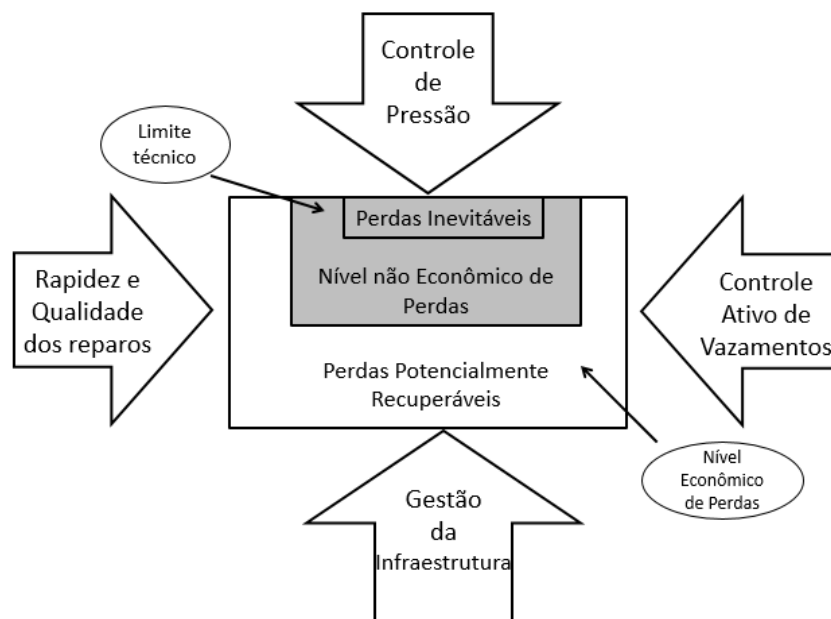


Figura 55. Cruz de perdas reais.  
 Fonte: Adaptado de Thornton (2002).

A velocidade de reparo de vazamentos contribui diretamente para o volume total da perda real. Assim, devem-se adotar medidas para assegurar que o tempo médio de reparação seja o mínimo possível, de maneira que os vazamentos visíveis tenham uma participação pequena no total das perdas reais.

Tão ou mais importante que o reparo rápido dos vazamentos visíveis é o controle ativo de vazamentos "invisíveis". Em muitos sistemas, os vazamentos invisíveis representam a maior parcela das perdas reais. O controle ativo não visa a reparação de rompimentos reportados pela população (vazamentos visíveis), e sim uma estratégia de controle de perdas, de natureza periódica, que procede ao monitoramento da rede, permitindo a detecção e a reparação de vazamentos não comunicados pela população.

Ao longo da vida útil de um sistema de abastecimento de água, mesmo que o projeto tenha sido bem projetado, surgem situações que não foram consideradas inicialmente, tais como ampliações da rede, surgimento de demandas em áreas não previstas, mudança do tipo de edificação, deterioração física dos componentes das instalações hidráulicas, ineficiência na operação relacionada com vazamentos, rompimentos de tubulações, falta de otimização operacional eletromecânica dos conjuntos motobomba, dentre outros. Dentre esses fatores, o envelhecimento das tubulações é o mais impactante no aumento do volume de água perdido por vazamento.

A grande maioria dos sistemas de distribuição de água em operação necessita de ações de reabilitação para corrigir as situações antes apontadas. Pode-se definir

reabilitação como qualquer intervenção no sistema que prolongue sua vida útil, melhorando seu desempenho hidráulico, estrutural e de qualidade da água.

Existe um grande número de técnicas que podem ser utilizadas para a reabilitação de redes hidráulicas, que podem ser classificadas em destrutivas e não destrutivas. As destrutivas utilizam procedimentos convencionais de abertura de valas que provocam acentuados transtornos nas vias urbanas. O processo não destrutivo é caracterizado pela abertura de pequenas valas ou poços de inspeção, o que diminui consideravelmente o impacto social das intervenções.

Segundo Tardelli Filho (2006), as perdas reais na distribuição podem ser visíveis e não-visíveis (Figura 56) sendo que para cada tipo corresponde algumas ações possíveis para o controle e a redução de perdas.

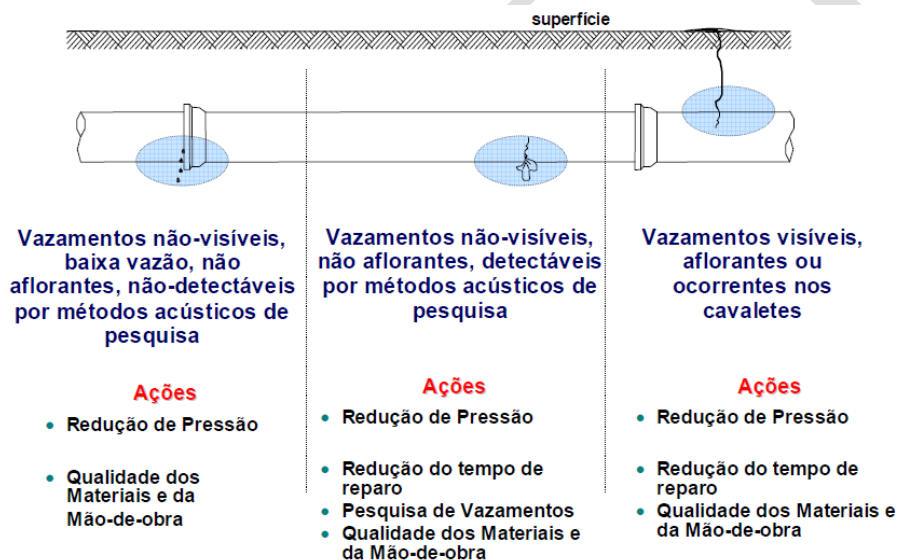


Figura 56. Perdas visíveis, não-visíveis e ações de controle.  
Fonte: Tardelli Filho (2006).

A síntese das principais ações para o controle e a redução das perdas aparentes está exposta na Figura 57. No âmbito da macromedição, as ações adequadas são a instalação adequada de macromedidores e a calibração dos medidores de vazão. No âmbito da gestão comercial, as ações incluem o controle de ligações inativas e clandestinas. No que concerne à micromedição, as ações abrangem a instalação adequada e a substituição periódica dos hidrômetros.

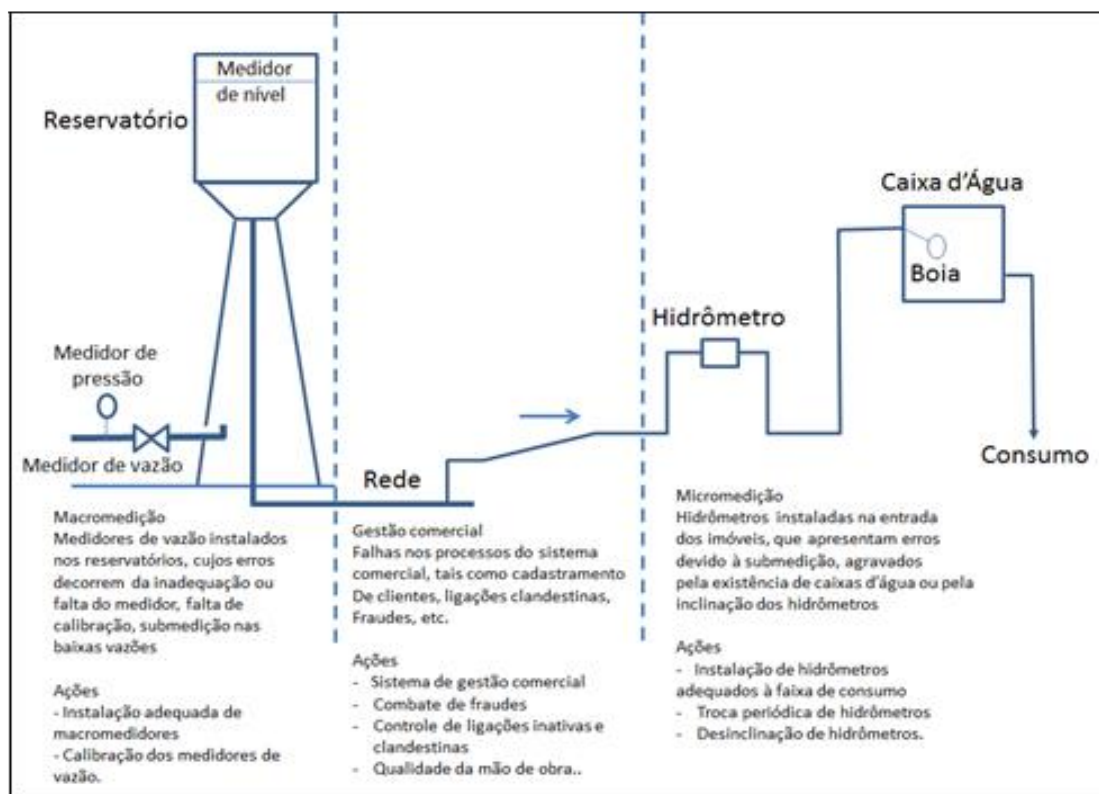


Figura 57. Síntese das ações para o controle e a redução de perdas aparentes.  
Fonte: Tardelli Filho (2006).

É fundamental que as Companhias de abastecimento tenham um programa de redução de perdas composto de uma série de ações corretivas e metas a cumpridas no transcorrer do desenvolvimento do programa.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE que presta serviços públicos de água e esgoto em Fortaleza vinculada à Secretaria de Infraestrutura traçou um plano de metas de combate à fraude e de redução de perdas. Este plano contempla pesquisas de caça de vazamentos ocultos, disponibilizando para esta função três equipes itinerantes especializadas cobrindo toda a região metropolitana e também unidades no interior através de trabalhos de campo com pesquisa de vazamentos ocultos (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2014).

Segundo o mesmo autor, o plano prevê a utilização de um Sistema de Controle de Perdas (SISCOPE), uma ferramenta estruturada em plataforma WEB de fácil acesso, que permita diversos tipos de pesquisas e uma melhor efetividade das ações de combate à perda. Este plano permite a realização do monitoramento das pressões das RDA's da capital e interior através das estações piezométricas, possibilitando o acompanhamento em tempo real das pressões nestas redes e ações de diminuição ou aumento dessas

pressões, evitando danos à rede e consequentes vazamentos, bem como interrupções no abastecimento de determinadas áreas.

### 5.3 Gestão da Demanda

Segundo o ISA (2007), além das perdas de água na rede de distribuição é preciso se preocupar também com o desperdício ocasionado pelo uso irracional e ineficiente por parte da sociedade e com isso, gerenciar a demanda hídrica de maneira eficaz.

Segundo Milutinovic (2006), existem três formas de gerenciar a demanda por água. A primeira via instrumentos econômicos e financeiros. A segunda seria via políticas públicas, como conscientização da população e a restrição de uso, etc. E, por fim, via mudanças tecnológicas, desenvolvendo novos processos e equipamentos que aumentem a eficiência no uso da água, e com isso, reduzam o consumo.

#### 5.3.1 Instrumentos Econômicos, Financeiros e Comportamentais

A percepção de que a água é um bem econômico e escasso levou a criação de instrumentos para racionalizar o seu uso. No Brasil, a primeira ação de regular o aproveitamento das águas ocorre com o Código de Águas, estabelecido pelo Decreto Federal 24.643, de 10 de julho de 1934 que instituiu o princípio poluidor-pagador. Entretanto, foi a partir da promulgação da Constituição Federal de 1988 que as águas foram consideradas um recurso econômico dotado de importância fundamental para o desenvolvimento do país (SILVA, 2015).

A Constituição determinou, em seu art. 21, inciso XIX, que a União iria instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH). Além disso, foram extintos os domínios privado e municipal existente no Código das Águas e todas as águas passaram a ser um bem público<sup>1</sup>, de domínio da Federal ou Estadual.

Em 1989, no Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, surge o primeiro grande debate sobre a aplicação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil conforme relata Barth (2000). Em 1997, a Lei Federal nº 9.433 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e introduz a cobrança pelo uso da água bruta no Brasil, como um instrumento de gestão.

---

<sup>1</sup> Segundo o Código Civil (art 67.), os bens públicos são por suas próprias características inalienáveis, só perdendo essa condição nos casos e na forma que a lei prever. Assim, as águas públicas são bens inalienáveis (Código Civil, art. 46).

A cobrança pelo uso da água, conforme, Silva (2015) tem dupla função: uma função econômica ao condicionar o comportamento dos usuários de água em direção a uma maior eficiência na aplicação deste recurso e financeira ao prover fundos ao gerenciamento dos recursos hídricos. Essas duas funções materializam-se, respectivamente, na forma de um preço público genérico e sob a forma de tarifa de água bruta (contraprestação de serviço de gestão, operação e manutenção de hidrossistemas).

A tarifa de água é um instrumento poderoso e versátil, e capaz de atingir uma série de objetivos, embora possa ocorrer um trade-off entre eles. Dentre os principais objetivos que podem ser alcançados, pode-se citar a suficiência de receita das empresas fornecedoras de água, a eficiência econômica, equidade e justiça, redistribuição de renda e a conservação do recurso natural (ANDRÉ, 2012).

A tarifa de água em Fortaleza é de responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) que foi fundada através da lei 9.499 de 20 de julho de 1971. Criada sob a forma de empresa de economia mista, ela é vinculada à secretaria de infraestrutura e tem no governo do Estado o seu maior acionário, seguido da prefeitura municipal de Fortaleza.

A Companhia está presente atualmente em 151 municípios do Estado do Ceará, com índice de cobertura de abastecimento de água de 98,16% em todo o Estado. Em Fortaleza, a cobertura de abastecimento de água chega à 98,64%. O índice de cobertura do sistema de esgotamento sanitário chega a 40,11% para todo o Estado. Em Fortaleza, este índice é de 57,10% (CAGECE, 2016a).

A estrutura tarifária da CAGECE (Tabela 19) foi construída conforme oito tipos de uso que possuem tarifa crescente em blocos de consumo: (i) Residencial Social - Demandas máximas (10m<sup>3</sup>); (ii) Residencial Popular - Demandas mínimas (10m<sup>3</sup> de água e 8m<sup>3</sup> de esgoto); (iii) Residencial Normal - Demandas mínimas (10m<sup>3</sup> de água e 8m<sup>3</sup> de esgoto); (iv) Comercial Popular - Demandas mínimas (7m<sup>3</sup> de água e 5m<sup>3</sup> de esgoto); (v) Comercial II - Demandas mínimas (10m<sup>3</sup> de água e 8m<sup>3</sup> de esgoto); (vi) Industrial - Demandas mínimas (15m<sup>3</sup> de água e 12m<sup>3</sup> de esgoto); (vii) Pública - Demandas mínimas (15m<sup>3</sup> de água e 12m<sup>3</sup> de esgoto); e (viii) Entidades Filantrópicas - Demandas mínimas (10m<sup>3</sup> de água e 8m<sup>3</sup> de esgoto).

Tabela 19. Estrutura tarifária da CAGECE para Fortaleza em 2016.

<b>Categoria</b>	<b>Faixa de Demanda (m³)</b>	<b>Tarifa Água (R\$/m³)</b>	<b>Tarifa Esgoto (R\$/m³)</b>	<b>(%) Reajuste Fortaleza Água</b>	<b>(%) Reajuste Fortaleza Esgoto</b>	<b>Tarifa Água (R\$/m³)</b>	<b>Tarifa Esgoto (R\$/m³)</b>
Residencial Social - Demandas máximas (10m³)	0 a 10	0,79	0,79	10,13%	10,13%	0,87	0,87
Residencial Popular - Demandas mínimas (10m³ de água e 8m³ de esgoto)	0 a 10	1,62	1,62	8,02%	8,02%	1,75	1,75
	11 a 15	2,73	2,73	9,16%	9,16%	2,98	2,98
	16 a 20	2,93	2,93	9,90%	9,90%	3,22	3,22
	21 a 50	5,01	5,01	11,18%	11,18%	5,57	5,57
Residencial Normal - Demandas mínimas (10m³ de água e 8m³ de esgoto)	0 a 10	2,15	2,37	15,81%	16,46%	2,49	2,76
	11 a 15	2,75	3,03	17,09%	17,16%	3,22	3,55
	16 a 20	2,94	3,23	19,05%	18,89%	3,5	3,84
	21 a 50	5,02	5,53	19,32%	19,17%	5,99	6,59
	> 50	8,84	9,73	19,80%	19,73%	10,59	11,65
Comercial Popular - Demandas mínimas (7m³ de água e 5m³ de esgoto)	0 a 13	2,59	2,84	15,44%	15,85%	2,99	3,29
Comercial II - Demandas mínimas (10m³ de água e 8m³ de esgoto)	0 a 50	5,41	5,96	15,71%	15,77%	6,26	6,9
	>50	8,28	9,11	19,81%	19,76%	9,92	10,91
Industrial - Demandas mínimas (15m³ de água e 12m³ de esgoto)	0 a 15	5,02	5,53	10,16%	10,13%	5,53	6,09
	16 a 50	5,82	6,4	12,71%	12,66%	6,56	7,21
	>50	8,84	9,73	15,27%	15,21%	10,19	11,21
Pública - Demandas mínimas (15m³ de água e 12m³ de esgoto)	0 a 15	3,1	3,42	17,42%	17,25%	3,64	4,01
	16 a 50	4,56	5,01	19,08%	18,96%	5,43	5,96
	>50	7,27	8	19,81%	19,75%	8,71	9,58
Entidades Filantrópicas - Demandas mínimas (10m³ de água e 8m³ de esgoto)	0 a 10	1,62	1,62	8,02%	8,02%	1,75	1,75
	11 a 15	2,73	2,73	8,06%	8,06%	2,95	2,95
	16 a 20	2,93	2,93	8,19%	8,19%	3,17	3,17
	21 a 50	5,01	5,01	8,38%	8,38%	5,43	5,43
	> 50	8,84	8,84	8,37%	8,37%	9,58	9,58

Fonte: CAGECE (2016b).

Como o serviço de distribuição de água tratada e tratamento de esgoto é um serviço regulado, por ser um monopólio natural e ser um serviço essencial à saúde, a adoção de uma estrutura tarifária necessita ser aprovada pelos órgãos reguladores do setor. Em Fortaleza, este órgão é a Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR). Já nos municípios do interior do estado do Ceará esta tarefa é de responsabilidade da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará (ARCE).

Quando se utiliza o mecanismo tarifário para a 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. SRH (2002) realizou uma análise econômica do canal de transposição do Jaguaribe-Metropolitano Transbasin e estimou a elasticidade-preço da demanda de Fortaleza em 0,137, em valor absoluto. Rosa *et al.* (2006) considerando como variável determinante do consumo de água a renda e analisando 38 residências estimou a elasticidade-preço em 0,38 (valor absoluto) indicando que a demanda por água é inelástica.

Brasil (2009) estimou que o aumento de um real no preço médio reduz o consumo residencial por água no Estado do Ceará em 0,53m<sup>3</sup>. Nesta análise, foi incorporado a tarifação não-linear (modelo de tarifação da CAGECE) e considerado como variáveis que explicavam o consumo de água: o preço médio, a renda familiar, número de pessoas que moram no imóvel, o número de cômodos, a temperatura média do mês, a avaliação do consumidor em relação a qualidade da água consumida, a avaliação do consumidor em relação a regularidade do abastecimento de água e a avaliação do consumidor em relação quantidade de água consumida.

Mais recentemente, André (2012) estima a demanda residencial em Fortaleza considerando efeitos espaciais, isto é, que há uma relação diferente de preço e consumo de água em cada ponto do espaço. Segundo o mesmo autor, a dependência espacial está associada ao fato de que variáveis que determinam esse consumo como variáveis de infraestrutura, socioeconômicas e climáticas tendem a apresentar um padrão de distribuição espacial. Com isso, essas variáveis acabam afetando-o não apenas pelo seu efeito direto, mas também, indiretamente, pelo efeito do padrão de associação espacial, que se traduz em correlação espacial dos erros.

André (2012) determinou que os fatores determinantes para explicar o consumo residencial de água na cidade de Fortaleza são o preço médio, a diferença entre o valor total da conta e o valor da conta ao preço marginal, a renda, o número de residentes e o número de cômodos da residência. A elasticidade-preço da demanda foi estimada em torno de 0.61, em termos absolutos. Também concluiu que, a variável diferença impacta o consumo negativamente e as variáveis renda, número de residentes e número de cômodos apresentou um efeito positivo sobre a demanda por água.

Bruvold (1998) já havia postulado que o consumo residencial de água é influenciado por mecanismos do tipo estrutural e comportamental (Figura 58) somados a determinantes como a renda familiar, a temperatura e o tamanho da família. Em seu modelo, ele aponta que a crença de que a água é recursos ilimitado por exemplo, eleva o consumo de água. O conhecimento de que este recurso está cada vez mais escasso pode reduzir o consumo.

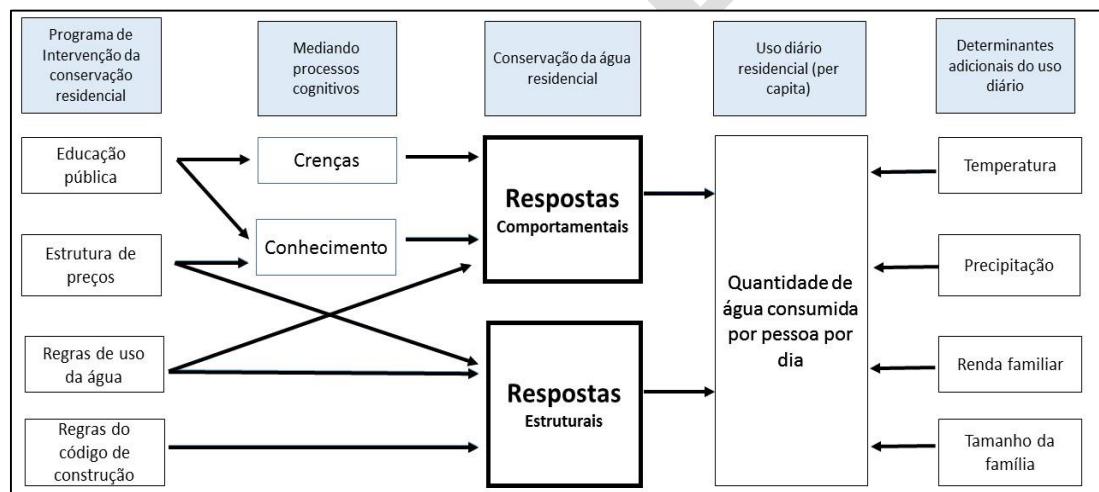


Figura 58. Determinantes do consumo da água residencial.

Fonte: Adaptado de Bruvold (1988).

A educação vista como formadora de uma consciência ecológica crítica que deve enfatizar os benefícios da conservação da água tanto do ponto de vista financeiro quanto ambiental. Enquanto que, 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).

Ressalta ainda, que temperaturas mais elevadas exercem influência direta sobre o consumo aumenta assim como a umidade, dado que em regiões mais secas o consumo



é; maior. Na ocorrência de precipitação tem-se a redução do consumo de água. 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. Arbués *et al.* (2003) argumenta que esse maior consumo pelas pessoas mais ricas se dá pelo baixo nível de percepção da estrutura tarifária, uma vez que o valor total da conta representa apenas uma pequena proporção de sua renda. Outro fator que explica o aumento do consumo de água devido ao aumento da renda e que existe uma correlação positiva entre a renda e o tamanho da residência.

Assim, pode-se dizer que a compreensão do comportamento da demanda de água é essencial para a definição de uma estrutura tarifária e de outras medidas que promovam o uso racional da água. Além disso, a percepção do efeito positivo das diversas variáveis sobre o consumo de água ressalta a importância do desenvolvimento de tecnologias que propiciem essa racionalização para a gestão da demanda.

### 5.3.2 Tecnologias para boas práticas de uso da água

A principal medida de gestão da demanda apontada hoje para contribuir com o uso racional da água é a utilização de aparelhos sanitários economizadores de água. Eles destacam-se na busca pela eficiência do uso da água por reduzir o consumo independentemente da ação do usuário ou da sua disposição em mudar de comportamento.

Segundo Alves (*et al.*, 2006), aparelhos sanitários corresponde um conjunto de peças, aparelhos e equipamentos empregados em edifícios de usos diversos, tais como torneiras e válvulas de mictórios. Dentre os aparelhos sanitários que mais vem sendo utilizados para o uso racional da água pode-se citar as torneiras economizadoras, mictórios sem água e com dispositivos de redução e volume e as bacias sanitárias de volume reduzido. Cada um deles está descrito brevemente a seguir conforme ANA (2005b), Marinho (2007), Scherer (2003), Vieira (2012) e Vimieiro (2005):

#### i. Torneiras

As torneiras são usadas nos mais diversos pontos de uma edificação: lavatórios (banheiros), pias (cozinhas), tanques (área de serviço), nos jardins e garagens sendo o

seu consumo de água proporcional à sua vazão de escoamento e ao tempo de utilização pelo usuário.

As torneiras economizadoras de águas disponíveis no mercado são as torneiras com funcionamento hidromecânico (fechamento automático), por sensor de presença (eletrônico), por válvula de pé, por pedal e hidromecânico adequado a deficientes físicos. Outro sistema com função economizadora, que é incorporado às torneiras, denomina-se arejador (Figura 59). Este é destinado a promover o direcionamento do fluxo de água, evitando dispersões laterais e amortecendo o impacto do jato de água contra as partes que estão sendo lavadas. Funcionam pelo princípio de Venturi incorporando considerável quantidade de ar ao fluxo de água e reduzindo a vazão e o volume de água utilizado.



Figura 59. Arejador economizador para torneira.  
Fonte: DECA (2005).

Nas torneiras hidromecânicas (Figura 60), o controle de vazão é obtido pela regulagem de um registro regulador de vazão, ou seja, os usuários não interferem na vazão, que é convenientemente regulada em função da pressão existente no ponto. A temporização do ciclo de funcionamento também resulta na redução do consumo de água. Este tempo não deve ser muito curto, para evitar que o usuário tenha que acioná-lo várias vezes em uma única operação de lavagem, além de causar desconforto.

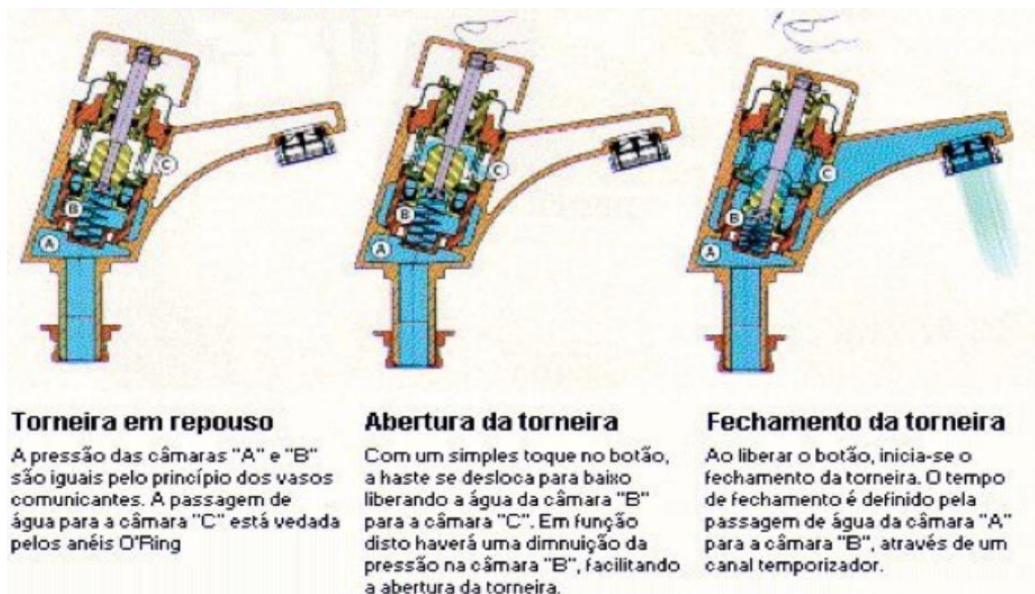


Figura 60. Funcionamento de uma torneira hidromecânica.  
Fonte: Amorim (1997).

O acionamento das torneiras com funcionamento por sensor de presença eletrônico ocorre imediatamente ou até 4 segundos da detecção da presença do usuário, evitando-se acionamentos acidentais. O fluxo permanece até o afastamento do usuário ou por um tempo máximo de até 150 segundos. Essas torneiras são mais eficientes que as de fechamento automático, tanto na redução de consumo de água quanto na questão de higiene.

As torneiras com funcionamento por válvula de pé são caracterizadas por apresentarem um sistema de acionamento no piso, à frente da torneira, sendo o fluxo de água liberado durante o tempo em que o usuário permanecer com o pé sobre o acionador. Contudo, é possível que o fluxo seja liberado continuamente se um objeto pesado for deixado sobre o sistema acionador, gerando desperdícios. Esse sistema é adequado para ambiente onde seja necessário que não se tenha contato das mãos com a torneira, como em hospitais e estabelecimento de saúde em geral, dependendo o seu correto uso do nível de conscientização dos usuários.

O pedal usado nas torneiras funciona em forma de alavanca liberando o fluxo de água durante o tempo de acionamento, havendo modelos no mercado que impedem que o usuário permaneça acionando o pedal por um longo período.

- ii. Mictórios convencionais com dispositivos economizadores de água

Os mictórios são aparelhos que podem consumir uma quantidade elevada de água caso não seja provido de dispositivos de descargas economizadores de água como, válvulas de acionamento hidromecânico, válvula temporizada, válvula com sensor de presença e a válvula de descarga fluxível.

A válvula de acionamento hidromecânico é caracterizada por um corpo metálico externo que controla e conduz a água até o mictório. Para o acionamento da descarga, o usuário deve pressionar o acionador da válvula liberando o fluxo de água para a bacia do mictório. Após o acionamento pelo usuário, ocorre o fechamento temporizado pela ação hidromecânica da válvula.

As válvulas temporizadas podem ser facilmente encontradas no mercado e adaptadas às instalações existentes. No temporizador eletrônico pode ser feita a regulação do intervalo entre descargas e do tempo de duração da descarga. O temporizador envia um sinal a uma válvula solenóide elétrica que faz a liberação do fluxo de água conforme os parâmetros definidos no temporizador. Este sistema pode ser empregado em mictórios coletivos e em baterias de vários mictórios individuais. Tem a desvantagem de não diferenciar picos e vales de fluxo de usuários

Nos mictórios com válvula de acionamento por sensor de presença, quando o usuário se aproxima e se posiciona de frente ao aparelho, um sensor emite continuamente um sinal imperceptível ao usuário, infravermelho ou ultrassom, detecta a sua presença. Em geral, na maioria dos equipamentos, o fluxo de água só é liberado após o afastamento do usuário, o que garante um menor consumo de água. Tem a vantagem frente aos demais da higiene do usuário, uma vez que este não entra em contato com nenhum componente do sistema. Existem também válvulas eletrônicas que por serem embutidas na parede possuem grande resistência a vandalismo e permitem higienização completa do mictório.

Ainda pouco utilizada no Brasil, a válvula de descarga fluxível apresenta um sifão, semelhante aos das bacias sanitárias, que utiliza o volume de 3,79 litros, liberado a cada acionamento, para realizar a sifonagem. O equipamento apresenta características antivandalismo, porém seu consumo de água é maior se comparado ao dos demais sistemas de mesma função.

### iii. Mictórios sem água

Os mictórios que não usam água na sua lavagem (Figura 61) estão em franca expansão na Europa e América do Norte, tendo grande utilização em escolas, bancos,

restaurantes, etc. Sua manutenção é realizada da mesma maneira que em um mictório convencional. Pelo fato de que ocorre depósito de sedimento no fundo do dispositivo com selo oleoso, sua limpeza se faz necessária com frequência de 5000 a 7000 visitas, de acordo com fabricantes de selo oleoso. Alguns fabricantes fornecem produtos bactericidas para aspersão diária no mictório, com o objetivo de se evitar mau cheiro.

O mictório sem água é constituído dos seguintes componentes: bacia cerâmica, suporte do cartucho, cartucho, líquido selante, chave para troca do cartucho – opcional. O líquido selante é uma substância composta por mais de 90% de álcoois graxos e o restante de biocida e corantes. Sua cor predominante é o azul e apresenta densidade menor que a da água e da urina, permanecendo em suspensão nas mesmas. O líquido selante se localiza em suspensão na primeira câmara do cartucho. A urina entra pelos orifícios da parte superior do cartucho, penetrando na primeira câmara através do líquido selante que está em suspensão e preenchendo toda a superfície superior do líquido desta câmara. Pelo sistema de vasos comunicantes, a urina é expelida pelo orifício de saída do cartucho, sendo coletada pelo copo do suporte e de lá para a rede de esgoto. A manutenção requerida é a substituição periódica do cartucho, que se trata de uma peça descartável. A durabilidade do cartucho está associada à obstrução de suas cavidades por material bioquímico que se acumula em seu interior e pelo carreamento do líquido selante.



Figura 61. Esquema de um mictório sem uso de água e vista do aparelho.  
Fonte: SCHERER, 2003.

#### iv. Bacias sanitárias de volume reduzido

Por conta do alto volume de água, as bacias sanitárias tornaram-se um dos principais exemplos de aparelhos sanitários para os quais se buscam soluções de

racionalização do consumo trabalhando-se sobre a redução do volume de água descarregada em cada operação de uso.

As bacias sanitárias economizadoras de água disponibilizados no mercado são as de válvula de descarga e as com caixa acoplada. As primeiras caracterizam-se por necessitar de aproximadamente 6,8 litros de água para realizar adequadamente o arraste dos dejetos e a limpeza interna e são denominados VDR (volume de descarga reduzido). Elas foram fabricadas obrigatoriamente desde 2002 devido à normatização brasileira e vieram para substituir aqueles que necessitavam de até 30L para que fosse realizada uma limpeza adequada de dejetos.

As bacias sanitárias com caixa acoplada também utilizam apenas cerca de 6,8 litros de água para realizar o arraste dos dejetos e a limpeza interna de forma eficiente. Existem equipamentos que apresentam dois botões de acionamento de descarga, sendo um que libera uma descarga de cerca de 6,8 litros, capaz de arrastar efluentes com sólidos e o outro, que libera cerca de 3 litros de água, suficientes apenas para a limpeza de urina. Também apresentam padronização de cotas de saída de água, não exigindo obras civis para sua substituição. De acordo com o fabricante, a entrada de água pode se encontrar em diversas posições. A desvantagem desse equipamento é a sua vulnerabilidade ao vandalismo.

Vale ressaltar que a redução de vazões em sistemas prediais de esgotamento sanitário oriundos de volumes reduzidos de descarga de bacias sanitárias pode levar a problemas de autolimpeza em ramais e coletores devido à menor altura da lâmina de água e à menor capacidade de geração de ondas, responsáveis pelo transporte dos sólidos. A adoção indiscriminada de sistemas prediais de consumo reduzido de água sem uma prévia análise global dos sistemas predial e público pode causar o mesmo problema nos sistemas públicos de esgoto sanitário. Assim, fez-se necessário o desenvolvimento de sistemas de esgotamento sanitários especiais para essas situações como, o sistema predial de coleta de esgotamento sanitário a vácuo, onde uma válvula pneumática introduz o esgoto no coletor, e o sistema Gustavsberg, que apresenta um sifão coletor onde é acumulado um volume suficiente de esgoto para garantir a autolimpeza das tubulações.

O potencial de economia de água com a instalação dos aparelhos economizadores varia de acordo com as características do uso de água (tempo de uso) e do sistema hidráulico predial (vazão dos equipamentos hidrossanitários). Gonçalves (2007) e SABESP (2012) relataram o maior potencial de economia de água em torneiras

de lavatórios, 87,5% (sensor de presença) e 76,0% (arejador em sistema com pressão entre 150 e 200 kPa), respectivamente. Estes dois estudos estimam economia de 50% de água em torneiras com o uso de arejadores, sendo que para esta economia a SABESP (2012) define pressão máxima de 60kPa. Normalmente, encontrar-se-á pressões inferiores a 60 kPa em sistemas hidráulicos prediais de habitações de interesse social térreas.

Os estudos realizados por ANA (2005b) e SECOVI (2005) relatam os menores potenciais de economia, 24,0 e 22,5%, respectivamente. Determinaram-se estes potenciais de economia para torneiras com arejadores. Nos Estados Unidos, a USEPA (2010) define que a economia média com a instalação de equipamentos economizadores em torneiras é de 30%.

Assim, pode-se dizer que racionalizar o uso da água não significa privar-se deste recurso, mas usá-lo sem desperdício, considerá-lo uma prioridade social e ambiental. A consciencialização dos cidadãos e sua atuação através de pequenas remodelações possíveis de efetuar em suas casas, alterando hábitos e comportamentos, constituirá um benefício para todas as formas de vida que dependem da água e contribuirá no futuro para uma maior e melhor racionalização deste recurso.

#### **5.4 Gestão de Cheias Urbanas**

Com o desenvolvimento urbano da segunda metade do século XX, o grau de urbanização no Brasil se intensificou a tal ponto que, entre 1950 e 2010, a porcentagem da população vivendo em cidades mais do que dobrou. Isto implicou diretamente no grau de impermeabilização das superfícies, impactando a hidrologia local e o ambiente aquático (LEE e HANEY, 2003).

Este crescimento acelerado não foi planejado, não tendo sido o Estado capaz de impedir a migração em massa das áreas rurais para as urbanas, motivada pela busca por emprego e melhores condições de vida, mas desacompanhada de um ordenamento adequado do espaço e da necessária infraestrutura, para comportar o referido aumento populacional.

Devido ao incremento acelerado na urbanização e a consequente impermeabilização do solo, o funcionamento do sistema de drenagem urbana baseado nas técnicas clássicas (inspiradas no princípio do higienismo) tem se mostrado insatisfatório (DRUMOND, 2012). Em Fortaleza, por exemplo, a ocupação

indiscriminada ao longo da rede de drenagem tem se tornado cada vez mais intensa, principalmente pela proliferação de favelas nas margens dos cursos d'água que banham a área urbana. Esse processo de ocupação tem contribuído significativamente para exacerbar a incidência das enchentes, através do assoreamento dos cursos d'água causado pela remoção da cobertura vegetal marginal e pelo lançamento de lixo e outros dejetos nesses ambientes.

Para solucionar essas questões, Kirshen *et al.* (2015) citam três classes de estratégias proativas de adaptação para áreas urbanas:

- (a) Proteção: barreiras para bloquear os impactos das mudanças climáticas;
- (b) Acomodação: ações específicas para reduzir a intensidade dos impactos;
- (c) Retirada: saída completa da área de impacto.

Segundo Righetto *et al.* (2009 *apud* DRUMOND, 2012), os projetos mais recentes de saneamento têm buscado soluções inovadoras de Engenharia, um ambiente urbano mais saudável e um atendimento da demanda associado ao desenvolvimento sustentável, o que tem produzido impacto relevante na concepção dos sistemas de drenagem.

O conceito de *tecnologias compensatórias de drenagem* almeja neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, tendo, como retorno, benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental (DRUMOND, 2012), baseando-se na infiltração e retenção das águas precipitadas, implicando em diminuição do volume de escoamento superficial, e no rearranjo temporal das vazões, e se contrapondo ao conceito de evacuação rápida das águas pluviais.

Inundações em áreas decorrentes de eventos que excedem a capacidade dos sistemas urbanos de drenagem devem ocorrer com mais frequência e ser mais danosas no futuro (MAILHOT e DUCHESNE, 2010), tornando necessário o estudo de alternativas para o controle de inundações.

As medidas de controle de enchentes, que podem ser estruturais e não-estruturais, apesar de conceitualmente diferentes, dificilmente estão dissociadas, devendo, dentro da visão de conjunto de toda a bacia, ser compatibilizadas com o esperado desenvolvimento urbano (TUCCI, 2002).

Para Tucci (2001), as medidas não-estruturais reduzem os prejuízos, através da melhor convivência da população com as cheias, a exemplo de: manuais de drenagem de águas superficiais urbanas, zoneamento de áreas de inundação, previsão e alerta de



inundação, seguros contra inundação, educação ambiental, dentre outros. Enquanto que, as medidas estruturais modificam o sistema de drenagem, evitando os prejuízos decorrentes das inundações, podendo estar relacionadas à infiltração e percolação das águas, ao armazenamento e ao aumento da eficiência do escoamento (TUCCI e GENZ, 1995).

Dentre as medidas não-estruturais pode-se citar:

a. Zoneamento de áreas de inundação

No zoneamento de áreas inundáveis, é necessário definir a ocupação das áreas de risco na várzea, atribuindo níveis de risco de inundação às mesmas, e deve estar inserida no plano diretor do município.

b. Previsão e alerta de inundação

Sistema de obtenção de dados em tempo real, e de transmissão a um centro de análise, que acione agentes individuais e/ou coletivos em caso de enchentes, a fim de minimizar as perdas.

c. Construções resistentes a inundações

Com o intuito de reduzir as perdas de edificações localizadas nas áreas de inundação, e que englobam a construção de pequenas estruturas de controle sob pilotis, uso de material resistente à água, elevação de cota das estruturas existentes, vedação de frestas e de aberturas nas edificações etc.

d. Seguro contra enchentes

Que permite a obtenção de uma proteção/compensação econômica para as perdas decorrentes das cheias aos proprietários de imóveis localizados em áreas de várzea.

Em relação as medidas estruturais têm-se:

a. Valas de Infiltração

São dispositivos de drenagem lateral, com ou sem dispositivo de percolação, em geral utilizados em ruas e estacionamentos, que permitem aumentar a recarga do lençol freático e reduzir o escoamento superficial (MARQUES, 2006). A Figura 62 mostra um esquema indicativo de uma vala de infiltração.

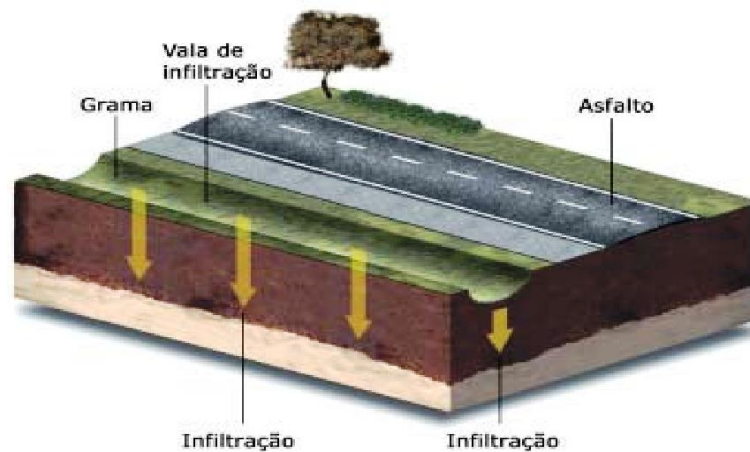


Figura 62. Esquema indicativo de uma vala de infiltração.  
Fonte: FEAM (2006).

#### b. Poços de Infiltração

Poços de Infiltração (Figura 63) são utilizados para drenar áreas de alguns milhares de metros quadrados, podendo ser implementados em regiões de solo pouco permeável nas camadas mais superficiais e de grande permeabilidade nas camadas mais profundas, podendo ser associados a trincheiras de retenção ou valetas (AZZOUT, 1994 *apud* SOUZA, 2002). Apresenta baixo custo de implantação, boa integração com o meio urbano, sem grandes restrições relacionadas à topografia. Necessita de manutenção regular, já que as superfícies de infiltração podem colmatar ao longo do tempo (CASTRO, 2002).

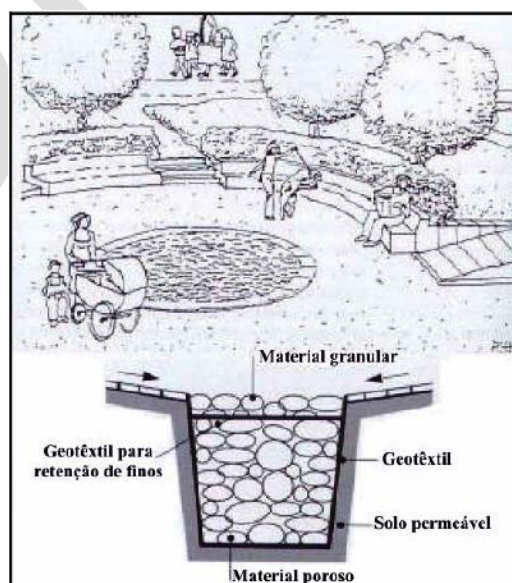


Figura 63. Poço de infiltração, e sua integração com o espaço urbano.  
Fonte: Souza (2002).

c. Microreservatórios de lote

São dispositivos que proporcionam o recolhimento das águas de escoamento superficial, culminando em um amortecimento das vazões ao longo do tempo. O custo de manutenção, segundo Moura (2004), envolve limpeza semestral e recuperação eventual das alvenarias, e a vida útil estimada por este autor para a estrutura é de 30 anos.

d. Pavimentos permeáveis

Dispositivos hidráulicos que permitem a redução do escoamento em passeios, estacionamentos, quadras de esporte e vias com tráfego pouco intenso. Podem ser executados com módulos de concreto vazado (Figura 64), ou com os materiais tradicionais – asfalto e concreto – retirando-se a fração de finos da mistura (URBONAS e STAHERE, 1993), para permitir a criação dos poros e canalículos na peça, por onde a água deve infiltrar.

Promove redução das vazões de pico, e redução dos diâmetros das tubulações a jusante, mas apresenta risco de poluição do aquífero subjacente, necessitando também de manutenção regular, já que as superfícies de infiltração podem colmatar ao longo do tempo (CASTRO, 2002).



Figura 64. Pavimento de concreto permeável.  
Fonte: PINI (2011).

e. Trincheiras de Infiltração

São medidas de controle local de drenagem, cujo princípio de funcionamento é o armazenamento temporário das águas até que a infiltração completa das mesmas no solo se processe (SOUZA, 1999 *apud* MARQUES, 2006). Tecnicamente, as trincheiras são

valetas preenchidas por material granular com porosidade alta, e revestidas por geotêxtil.

As trincheiras de infiltração (Figura 65) são de execução simples, aceitando diversos tipos de material granular, reduzem as vazões de pico, escoadas a jusante, mas exigem manutenção frequente, em razão da possibilidade de colmatagem e são de monitoramento difícil quanto ao desempenho e ao funcionamento (CASTRO, 2002).

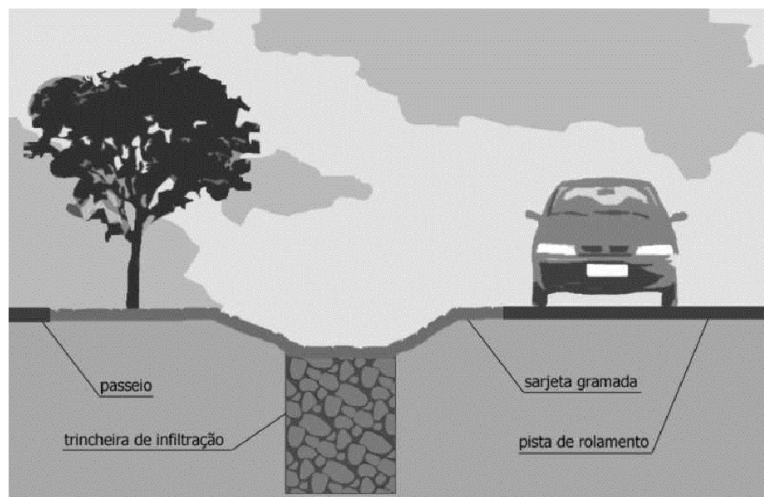


Figura 65. Esquema indicativo da utilização das trincheiras de infiltração.

#### f. Bacias de Detenção

São obras de drenagem urbana com a finalidade de estocar temporariamente (ou infiltrar) as águas de chuva, para reduzir os volumes de escoamento (MARQUES, 2006). Podem ser divididas em: (i) Bacias de retenção (para reserva temporária da água); (ii) Bacias de infiltração (para infiltração de toda a água nelas recolhida – volume de escoamento a jusante nulo); e (iii) Bacias de retenção e infiltração (combinação das características das anteriores, que proporcionam um rearranjo temporal das vazões e uma redução no volume de escoamento).

As bacias de detenção têm um efeito paisagístico interessante para áreas urbanas, permitem a decantação do particulado sólido em suspensão, e os volumes de água nelas acumulado pode ser usado para irrigação ou para reserva de incêndio. Demandam, no entanto, grandes áreas para sua implantação, e têm o risco de proliferação de insetos e das afecções a eles associadas na área de implantação da bacia.

A Figura 66 mostra uma bacia de detenção aberta, com equipamentos públicos, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais.



Figura 66. Bacia de detenção aberta com equipamentos públicos em Belo Horizonte-MG.

Fonte: Souza (2002).

g. Telhados armazenadores

Armazenam provisoriamente as águas de chuva que caem sobre os telhados, limitando os volumes de água escoados através de dispositivos de regulação de vazão, recomendados para telhados com declividade entre 0 e 5% (AZZOUT *et al.*, 1994 *apud* MARQUES, 2006). Este tipo de medida não exige investimento muito alto, tem boa integração com o meio urbano, mas é de difícil aplicação no país, em razão do fato de a maioria dos telhados ter grande declividade e de problemas com a estanqueidade e a capacidade das estruturas dos próprios telhados de suportarem esta carga extra.

h. Canalização

Medida estrutural intensiva para aumentar a eficiência de escoamento, aumentando a seção do rio, diminuindo a rugosidade e aumentando a declividade do fundo (TUCCI e GENZ, 1995). Podem, no entanto, ser negativamente afetados pela presença de resíduos sólidos, e apresentam restrições financeiras para a utilização em regiões de grande declividade (CASTRO, 2002).

i. Dique e *polders*

Diques são barramentos que margeiam o rio, impedindo o alagamento das áreas de inundação. Já os *polders* são uma faixa de recuo, situadas entre o dique e o rio, que constituem uma estrutura de controle da cheia. O uso deste tipo de medida deve estar

restrito às situações em que não há espaço para soluções que envolvam armazenamento, percolação ou infiltração, em razão de sua complexidade, de seus custos elevados de implantação, da possibilidade de ruptura, e das contundentes alterações do sistema de drenagem natural.

Righetto (2009) afirma que a situação ideal é a de planejamento destas soluções em concomitância com o desenvolvimento do projeto de urbanização, o que permite uma maior flexibilidade para a escolha e a adaptação das técnicas compensatórias ao projeto urbanístico. Porém, esta não é a regra. A implementação de técnicas compensatórias em áreas já urbanizadas, apresenta maiores limitações à escolha e tem custos de implantação mais altos. E esta escolha engloba fatores urbanísticos, sociais, econômicos e ambientais.

Tradicionalmente, os critérios de escolha das soluções mais adequadas são estabelecidos por meio de tabelas. Neste aspecto, Righetto (2009) cita as tabelas constantes do documento “*Techniques Alternatives*” (AZZOUT *et al.*, 1994 *apud* MARQUES, 2006), os quadros da experiência europeia (Projeto Daywater <daywater.enpc.fr>) e as recomendações norte-americanas (USEPA, 1993). A Tabela 20 e a Tabela 21, a seguir, mostram uma síntese das referências citadas, e a experiência nelas relatada.

Tabela 20. Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas compensatórias.

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade do lençol	Proximidade do leito rochoso	Restrições ao uso do solo	Aporte de sólidos
Bacia de detenção	+	+	+	++	+++	++
Bacia de infiltração	+++	+	+++	+++	+++	+++
Valas e valetas de detenção	+	++	+	++	++	++
Valas e valetas de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+++
Pavimentos porosos	++	+++	++	+	+	+++
Revestimentos permeáveis	++	+++	++	+	+	+++
Trincheiras de detenção	+	++	++	++	++	+
Trincheiras de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+
Poços de infiltração	+++	+	+++	+++	+	+
Telhados armazenadores	+	+	+	+	+	+
Reservatórios individuais	+	+	++	++	+	+

Legenda: +++ Grande importância ++ Média ou possível importância + Pequena importância ou nula

Fonte: Baptista *et al.* (2005).

Tabela 21. Vocação e possibilidades das técnicas compensatórias.

Técnica	Vocação e possibilidades das técnicas							
	Área de drenagem controlada	Controle de vazão de pico			Controle de Volumes	Recarga do lençol	Reúso direto	Controle de erosão a jusante
		TR < 5 anos	TR de até 30 anos	TR de até 100 anos				
Bacia de detenção/ retenção	> 16 ha	P	P	V	N	N	V	V
Bacias de infiltração	Média	P	P	V	P	P	V	P
Valas e valetas de detenção	Pequena a média	V	V	N	N	N	N	V
Valas e valetas de infiltração	Pequena a média	V	V	N	P	P	N	V
Pavimentos porosos	Pequena a média	P	V	N	V	V	N	V
Revestimentos permeáveis	Pequena a média	V	N	N	V	V	N	V
Trincheiras de detenção	< 4 ha	P	V	N	N	N	N	V
Trincheiras de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Poços de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Telhados armazenadores	Pequena	P	V	N	N	N	V	V
Reservatórios individuais	Pequena	P	V	N	N	N	V	V

Legenda: P: Adaptada V: pode ser adaptada N: pouco adaptada ou mesmo impossível

Fonte: Baptista *et al.* (2005).



## **6 ANÁLISE DO IMPACTO DA GESTÃO INTEGRADA NA SEGURANÇA HÍDRICA**

A utilização de águas pluviais, dessalinizada e de reuso pode ser uma boa alternativa para enfrentar a crise hídrica. Pensando nisso, propôs-se um modelo de simulação integrando os tipos de usos tradicionais e alternativos (Figura 46) com o intuito de avaliar o impacto destes no sistema de abastecimento de águas da região Jaguaribe e Metropolitana.

A partir do levantamento da série histórica de precipitações do município de Fortaleza, bem como o conhecimento do sistema de esgotamento sanitário da região e das intensões de utilização de água dessalinizada no município, alguns dados e parâmetros foram levantados para a construção deste modelo, detalhados a seguir.

### **6.1 Contribuição do Reuso de Água**

O sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza atualmente conta com cobertura de 61% da população, sendo 49,1% coberta pelo sistema de macrocoleta (Emissário submarino) e 11,9% coberta pelos sistemas isolados (PREFEITURA DE FORTALEZA, 2014b)

Como parâmetros para este estudo, considerou-se que 10% da população fara reuso dentro do próprio lote. Deste percentual, 30% do esgoto produzido serão reutilizados. Do esgoto produzido pelo emissário submarino e pelas ETE's isoladas, foram considerados que 60% e 10%, respectivamente, serão reutilizados como fontes alternativas. Assim, a utilização de águas de reuso será responsável por 26% do suprimento de água de Fortaleza e RMF, onde 23,14% será produzida pela vertente marítma, 1,46% por reaproveitamento no próprio lote e 0,93% das ETA's isoladas.

### **6.2 Contribuição da Água de chuva**

O município de Fortaleza apresenta uma área de 314,9 km<sup>2</sup> (IPLANFOR/FCPC, 2015a). Deste total, 38% correspondem à área urbana edificada, com uma taxa média de ocupação de 50% do lote.

Neste estudo, considerou-se que 10% da população reutilizará água de chuva. Admitindo um coeficiente de aproveitamento no lote de 0,8 (ou seja, 80% do que precipita é aproveitado), teríamos um aproveitamento de 1,9% de toda água que precipita. Sabendo que a precipitação média anual é de 1300mm, a vazão de água disponível para os usos seria, em média, 200 l/s.

### **6.3 Contribuição da Dessalinização**

A contribuição da água dessalinizada foi fixada em 2m<sup>3</sup>/s, funcionando em todo o tempo. Esta consideração visa observar o impacto da contribuição dessa fonte alternativa em todo o sistema de abastecimento.

Sabemos que em períodos úmidos a utilização dessa água seria inviável, haja vista a disponibilidade de água bruta nos reservatórios locais e os custos de produção relacionada a essa fonte alternativa. No entanto, seria necessário um estudo detalhado de otimização do sistema para identificar em qual momento (baseado nos estoques dos reservatórios) essa água deveria ser produzida e utilizada para contribuir com o abastecimento da cidade. Outra alternativa seria a utilização desta água somente em momentos de seca severa ou extrema, em que a planta funcionaria a capacidade plena de 2m<sup>3</sup>/s, sendo responsável por atender em torno de 20% da demanda total de Fortaleza.

### **6.4 Contribuição do São Francisco**

O Projeto de Integração das águas do rio São Francisco (PISF) tem por finalidade o incremento da oferta e segurança hídrica e atendimento a usos múltiplos (abastecimento urbano, indústria, irrigação, dessedentação animal, entre outros) de bacias situadas nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Para tanto, o PISF possui outorga preventiva de utilização de uma vazão firme contínua (24h/dia) disponível para bombeamento de 26,4m<sup>3</sup>/s. O rateio dessa vazão entre as bacias receptoras se dará futuramente num processo de negociação, que levará em conta, entre outras coisas, a capacidade de pagamento de cada bacia beneficiada.

Assim, para a análise do impacto da gestão integrada, utilizou-se a contribuição de 10m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco quando o reservatório Castanhão apresentasse volume igual a 50% do seu volume útil de armazenamento. Esta consideração visa à diminuição das perdas por vertimento na bacia do Jaguaribe

### **6.5 Contribuição da Água subterrânea**

A contribuição da água subterrânea não foi incorporada nas simulações deste trabalho devido à falta de estudos recentes.



fontes alternativas no sistema de abastecimento Jaguaribe e Metropolitano. A Figura 68 mostra o comportamento do reservatório Castanhão.

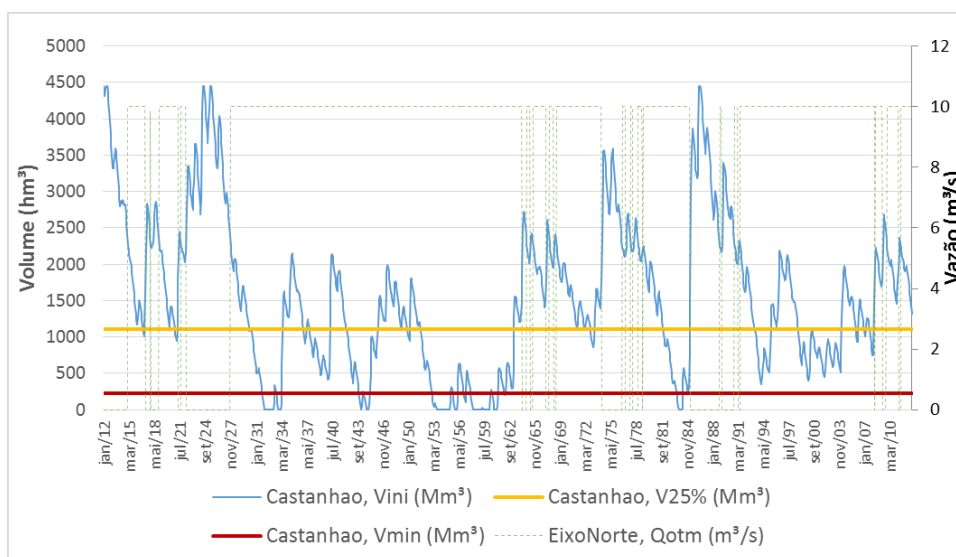


Figura 68 - Simulação da operação do reservatório Castanhão, com vazões históricas de 1912-2012, demandas dFJ 1-2 e capacidade máxima de 10m<sup>3</sup>/s de água transposta do rio São Francisco, utilizado fontes alternativas de suprimento de água no município de Fortaleza

Nesta simulação, o reservatório Castanhão tem em 36% do tempo estoque de água abaixo de 25% de sua capacidade máxima. O reservatório atinge o volume mínimo operacional (220 hm<sup>3</sup>) em 127 meses do período (10,5%). A simulação indica, ainda, o esvaziamento completo do Castanhão em 6,7% do tempo.

Os déficits de atendimento deste cenário alternativo são mostrados na Tabela 22. Observa-se uma diminuição dos déficits de atendimento de todos os centros de demandas da rede (em comparação ao cenário 5). As demandas de Fortaleza e RMF, com exceção das demandas do reservatório Aracoiaba, foram atendidas em 100% do tempo.

A utilização das fontes alternativas possibilita um menor estresse da rede, diminuindo a vulnerabilidade do sistema como um todo. O reuso de águas no município possibilita um ganho considerável na rede. Se considerarmos as perdas de água bruta existente desde a transposição das águas da região do Jaguaribe até sua chegada à rede de distribuição local, perceberemos que cada volume de água utilizada de um manancial alternativo (reuso, chuva ou dessalinização) impacta de forma ainda mais significativa no balanço hídrico da rede de distribuição.

Tabela 22 - Déficits de atendimento das demandas para o Cenário alternativo

Demandas	Frequência abaixo da demanda necessária (%)		Variação Percentual (%)
	Cenário Alternativo	Cenário 5	
Orós	8,66	10,56	18%
Castanhão	4,70	7,67	39%
Banabuiú	12,46	12,87	3%
Distar	16,34	16,50	1%
Canal Trabalhador	5,28	8,09	35%
Eixão das águas	2,31	6,19	63%
Aracoiaba	0,25	1,32	81%
Pacajús	0,00	0,50	100%
Pacoti-Riachão	0,00	0,00	-
Gavião	0,00	0,50	100%
CIPP	0,00	2,15	100%

## 7 GESTÃO DE SECAS

A seca é a manifestação climática mais recorrente de Fortaleza e que pode tornar mais severa e intensa devido às mudanças climáticas. Assim, o desenvolvimento de Planos de Preparação para as Secas (PPS) constitui em ferramenta útil para a redução dos impactos econômicos, sociais e ambientais associados às mesmas.

O plano de seca deve ser elaborado em período não seco a fim de evitar que suas ações restrinjam-se a ações emergenciais. Os passos metodológicos da elaboração e seus conteúdos são diversos e podem demandar custos em tempo, recursos humanos e materiais diversos. Durante o desenvolvimento do projeto deverão ser analisadas diferentes configurações do processo de construção do plano com vistas a possibilitar alternativas para diferentes escalas de problemas bem como, para compreender os avanços e dificuldades que os atores em situação de ação tem encontrado para gerir os recursos hídricos em períodos de escassez hídrica.

Aponta-se que o plano de seca seja construído em três pilares: (i) o monitoramento e alerta precoce, (ii) a avaliação de riscos e impactos e a (iii) elaboração de ações e/ou programas de preparação, mitigação e resposta a seca.

O monitoramento está associado ao uso de índices/indicadores apropriados e ligados a impactos e gatilhos e ao desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão. Na avaliação de risco e impactos deve ser feito um monitoramento e inventário de impactos existentes no local de análise para que sejam respondidas as seguintes questões: O que está em risco? e Por quê está em risco?. Ações de resposta à seca deverão ser implementadas de maneira proativa para reduzir os riscos e aumentar a capacidade de enfrentamento.

Para subsidiar os tomadores de decisão quanto ao alerta e monitoramento às secas Souza Filho *et al* (2015) propôs o desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão (SSD). O SSD tem o intuito de dar suporte a gestão de águas urbanas apresentando ao planejador uma visão do estado do reservatório e alternativas de ação a serem tomadas em uma situação de seca, devendo ser entendido como parte do abrangente processo de planejamento.

O SSD (Figura 69) construído divide-se em duas etapas: (i) monitoramento e alerta precoce (

Figura 70); (ii) resposta a seca. A primeira etapa baseia-se em inserir o volume do reservatório no sistema e observar o estado de seca identificado por ele. O estado de seca detectado está associado um valor de retirada definido com base na simulação da operação e balanço de massa do reservatório e a um conjunto de ações a ser aplicada pelos gestores a fim de que a seca não alcance um estágio de maior severidade (SOUZA FILHO *et al.*, 2015).



Figura 69. Vista da página inicial do SSD.

Fonte: SOUZA FILHO *et al.*, 2015.

A seção de resposta à seca no SSD compõe-se de um conjunto de ações para lidar com a seca. Essas ações possuem caráter ambiental, social, institucional, melhoria do sistema, de acompanhamento e garantia do cumprimento dos objetivos da modelo de gestão proposto. Elas são resultado de discussões realizadas com as instituições responsáveis, direta ou indiretamente pelo sistema de abastecimento urbano.

Para cada ação é apontada uma descrição, indicação da instituição responsável e o nível de prioridade. Assim, por exemplo, interrupções noturnas figuram como um tipo de ação que se insere na classe medidas de gestão e operação do sistema, tendo por finalidade reduzir o consumo de água e evitar a utilização de novas fontes de abastecimento que, muitas vezes, pode gerar prejuízos ambientais de grande alcance. Esta medida no estágio seca assume prioridade 1 que significa ação necessária.

Deste modo, o SSD permite que planejadores acompanhem diariamente o estado do reservatório de abastecimento urbano e tome decisões para mitigar a seca.

Vale ressaltar que na implementação do conjunto de ações é importante observar três dimensões: (i) arcabouço normativo; (ii) aspecto gerencial e (iii) estabelecimento de uma agenda com a agência reguladora. O arcabouço normativo é singular/não generalizado, devendo o mesmo facilitar a implementação de regras de operação de longo do sistema de abastecimento das cidades no intuito de apoiar o gerenciamento do plano de seca. No aspecto gerencial busca-se constituir um grupo de gestão da seca bem como as atribuições e as respectivas responsabilidades de cada membro desse grupo.

**Monitoramento e Alerta Precoce**

**Passo 1:** Preencha a planilha de monitoramento do sistema Jaguaribe - Metropolitan (Reservatório Equivalente) com o volume do reservatório e verifique o estado de seca apresentado na coluna I.

[IR](#)

**Monitoramento do Sistema**

Data	Volume (hm³)	[%] Volume	Volumes Metas					Zona	
			Ano	Mês	Meta1	Meta2	Meta3		Meta4
15/01/2016			2016	1	293,05	219,93	110,93	60,81	
15/02/2016				2	263,52	191,71	84,87	60,81	
15/03/2016				3	268,96	198,24	93,15	63,52	
15/04/2016				4	292,94	223,23	119,91	96,63	
15/05/2016				5	423,21	354,43	252,40	229,50	
15/06/2016				6	433,83	371,91	271,19	202,12	
15/07/2016				7	485,08	404,23	282,96	202,12	
15/08/2016				8	474,85	395,09	275,50	195,85	
15/09/2016				9	438,29	359,76	242,09	163,82	
15/10/2016				10	401,05	323,81	208,19	131,40	
15/11/2016				11	363,56	287,74	174,38	99,23	
15/12/2016				12	327,44	252,96	141,76	68,19	

**Passo 2:** No gráfico Níveis de Alerta click a seção correspondente ao estado de seca apresentado na coluna I para acionar as medidas.

[IR](#)

**Níveis de Alerta**

- Volume meta 1
- Volume meta 2
- Volume meta 3
- Volume meta 4



Figura 70. Vista da página de monitoramento e alerta precoce do SSD.  
Fonte: SOUZA FILHO *et al.*, 2015.

A eficácia do plano dependerá da avaliação da vulnerabilidade no contexto das mudanças sociais e da percepção do risco não como algo que paraliza as ações, mas como um elemento que impulsiona ações coordenadas de curto, médio e longo prazo no âmbito de uma lógica pro-ativa.

## **8 FORTALEZA: CIDADE SOLIÁRIA**

Nesta seção apresenta-se um contexto sociológico e econômico de como Fortaleza ser uma cidade solidária em relação aos recursos hídricos.

### **8.1 Meio urbano, Água e Conflito**

A cidade não se configura como mero palco de atuação de diversos segmentos sociais, nem mesmo como um simples pano de fundo. Ela é o espaço do vivido, historicamente datada e determinada que se altera quando a sociedade é modificada. É produzida, como nos lembra Lefbvre (1969), ao mesmo tempo que se dá a produção da vida. Mas ela tem sido lugar de concentração de problemas ambientais decorrente de um modelo de ocupação que não considera as diferenças entre tempo geológico e tempos sociais, pautado em ocupação desordenada, que compromete a qualidade de vida de seus habitantes, especialmente os de baixa renda que convivem com o não atendimento das necessidades básicas e os riscos ambientais.

A cidade cresce degradando seus recursos naturais (incorporação de dunas à estrutura física, destruição da vegetação, rios e riachos poluídos e canalizados). Fato que evidencia, segundo Yazigi (2001) que “o drama está também no ritmo e modo violento como a urbanização é processada, sem critérios de seletividade do passado, sem justiça social e adequações topográficas” (YAZIGI, 2001, p. 14).

Considerando que a água é um recurso escasso e disputado, como pensar na melhoria do abastecimento das áreas urbanas tendo em vista que estas pautam-se em um modelo urbano-industrial com uso intensivo e desperdício de água em um quadro de significativo crescimento populacional/industrial e degradação de seus recursos hídricos? Trata-se de um desafio que requer a adoção de um novo modelo de gerenciar as águas urbanas que revela o drama do abastecimento de água para essas áreas, que destruíram suas matas, poluíram seus corpos hídricos e canalizaram seus rios, tornando-

as dependentes de águas trazidas de lugares que extrapolam seus limites físicos, implicando em transferências de externalidades e riscos para as populações que vivem no entorno dos locais de onde o recurso tem sido drenado, ocasionado o acirramento dos conflitos pelo uso da água.

A água enquanto elemento essencial à vida e bem de uso comum, é caracterizada pela fluidez e pela transitoriedade. É atravessada pela escassez, riscos e incertezas. Estas estão associadas às modificações nos padrões de variabilidade do clima que interferem na sua disponibilidade e provocam desconhecimento em regiões semiáridas quanto à quantidade que poderá ser armazenada em reservatórios no primeiro semestre do ano para ser utilizado na sua outra metade, expressando novas conexões de tempo e espaço. Deixa de ser recurso natural abundante e de livre acesso, perdendo-se pela evapotranspiração e pelos caminhos que transita de um lugar para outra via canais, adutoras e redes de distribuição.

Marcada pela escassez quantitativa e qualitativa, evidencia riscos de degradação ambiental e de desabastecimento para as populações e atividades econômicas. É um elemento vital para a sustentabilidade dos centros urbanos e que recentemente tem sido inserida nas agendas políticas como urgência do momento que requer adoção de ações e políticas de estado no aspecto do seu uso racional nas cidades. A busca por esta eficiência decorre da constatação do esgotamento do atual modelo em relação ao uso da água e a deflagração de diversos conflitos entre grupos sociais que disputam seu acesso para atender interesses específicos.

A discussão relativa aos conflitos associados ao uso e distribuição da água remete à necessidade de compreensão da categoria conflito, a qual possui longa tradição sociológica, cujas principais matrizes apresentam esse conceito sob enfoques distintos. Na matriz marxista, o conflito e a luta de classes são termos relacionados que implicam em mudança social. Já na corrente sociológica de influência funcionalista, o termo conflito é tratado como desvios, patologias ou anomalias de um contexto social considerado “normal”.

Do ponto de vista de Simmel (MORAES FILHO, 1983), os conflitos, juntamente com a contradição, a cooperação e a harmonia, figuram como processos inerentes às relações sociais que revelam formas distintas de interações entre os atores. Para esse autor, o conflito se configura como uma forma de “sociação”. Nesse sentido, ele afirma: “Assim como o universo precisa de *amor* e *ódio*, isto é, de forças de atração e de forças de repulsão, para que tenha uma forma qualquer, assim também a sociedade,

para alcançar uma determinada configuração, precisa de quantidades proporcionais de harmonia e desarmonia, de associação e competição, de tendências favoráveis e desfavoráveis”. (*apud* MORAES FILHO, 1983, p.124).

Para Elias (1994), mesmo que inconscientemente, os indivíduos estão sempre medindo forças e os conflitos são inerentes às interações que estabelecem. Esses indivíduos vivem num tecido de relações móveis, sendo a sociedade uma “rede de funções que as pessoas desempenham umas em relação às outras”. Assim, “toda a maneira como o indivíduo se vê e se conduz, em suas relações com os outros, depende da estrutura da associação ou associações a respeito das quais ele aprende a dizer “nós” (ELIAS,1994, pp.19 e 39).

As definições apresentadas anteriormente são fundamentais para compreender os conflitos pelo uso da água nas cidades que são frutos das interações em um campo de relações móveis que se configuram conforme Bourdieu (2011) em um estado não permanente das relações de forças, sendo resultado de processos de distinção social em virtude dos capitais social, econômico e cultural acumulado pelos agentes.

Refletir sobre a relação cidade-água- conflito conduz à percepção da existência de novas conexões entre próximo-distante. Inicialmente, as cidades nasciam e se desenvolviam as margens dos mananciais. Fortaleza não foge a essa regra. Ela teve sua localização e crescimento condicionados por sua proximidade com o riacho Pajeú. Hoje canalizado e com qualidade comprometida, não pode mais desempenhar a função de abastecimento da capital. Fortaleza, como as grandes cidades do país, segue esse padrão de urbanização e se vê dependente de águas trazidas de lugares cada vez mais distantes.

Com o desenvolvimento de técnicas de captação de água através de tubulações, canais e adutoras, a cidade deixa, paulatinamente, de estar presa a esse fator de localização, abrindo caminho para a primeira transferência de água para a Capital, oriunda do Vale do Acarape do Meio para caixas de águas situadas próximas a Faculdade de Direito da Universidade Federal do Ceará. Sistema que no final dos anos 1960 não consegue mais atender às necessidades de uma cidade que experimentava rápido crescimento populacional, aumento da verticalização para além do centro e reforço da industrialização via financiamento da SUDENE e do BNB. Essa realidade impôs a necessidade de repensar o sistema de abastecimento da cidade e de sua região metropolitana, composto por cinco reservatórios: Gavião, Pacajús, Aracoiaba e Pacoti-Riachão, que em período de seca dos anos 1990 não consegue suporta as intempéries climáticas, e Fortaleza entra em iminência de colapso de abastecimento.

Como solução, é construído o canal do trabalhador em 1993 para transportar água dos açudes Orós e Banabuiú, localizados no Vale do Jaguaribe. Percebe-se, que a água passa a ser drenada do interior do estado para atender os usos urbanos e industriais a partir da década de 1990, primeiro como estratégia emergencial, posteriormente assume um caráter permanente de transferência de água entre bacias que, nos anos 2000 passa a ser reforçado com o Eixão das águas.

No âmbito do processo de transferência hídrica, existe a resistência de populações locais de realizar o deslocamento espacial das águas acumuladas em reservatórios para a Região Metropolitana de Fortaleza-RMF, sobretudo em período de seca porque questionam os benefícios desse processo para as populações que vivem nos lugares de onde a água é retirada e por não visualizarem a forma como a RMF participa dos custos associados à transferência hídrica. Aliado a isso, denunciam a falta de conhecimento de significativa parcela da população da capital que desconhece o trajeto da água até suas casas, bem com as dificuldades e conflitos associados a essa transferência, os quais significam também, em muitos casos, uma forma de dominação e disputa referente ao desenvolvimento do território.

No caso do Ceará, como em todo o Nordeste, a redução da disponibilidade de água tem sido mais fortemente sentida ultimamente, devido a uma seca que já se prolonga a mais de quatro anos. As consequências atingem fortemente as populações de baixa renda, por não possuírem recursos e capitais que lhes permitam escolher tecnologias e lidar com a escassez de chuvas. Nesse contexto, como o abastecimento de água para a cidade de Fortaleza tem sido pensado? Na verdade, além das águas locais, a cidade faz uso de águas importadas, hoje da região do Jaguaribe, em breve utilizará as águas trazidas via transposição do rio São Francisco. Contudo, a importação desse recurso não se dá sem conflitos e tal procedimento não é suficiente para garantir a segurança hídrica da capital. Afinal, esta não pode ser pensada mediante a exportação de externalidades e transferência de risco sem que haja compensações para quem tem seu uso reduzido. Parafraseando Acselrad (2001) “como pensar e construir no presente, o futuro desejável, democrático e justo das cidades?” (24). Esse questionamento nos conduz a um princípio que deve guiar a busca pela sustentabilidade hídrica da cidade: **cidade solidária**. Mas qual o sentido desse termo? Tendo em vista que Fortaleza tem exportado riscos/externalidades mediante a importação de água da região do Jaguaribe, faz necessário reconhecer a dependência mútua entre os lugares (quem remete e quem recebe água).

O termo solidariedade desponta nesse trabalho não como sinônimo de caridade e filantropia, mas como algo relacionado a um processo criativo de relações sociais recíprocas relativas ao uso social da água, cujas práticas gravitam em torno da busca de diálogos e tomadas de decisão sem impor externalidades. O apelo à criatividade diz respeito à inovação (que ferramentas, quais procedimentos, que tecnologias utilizar). Trata-se de uma cidade “elástica”, parafraseando Martins ao citar Elliot e Turner (2012), cujas relações sociais (no nosso caso pelo uso da água) transbordam seu espaço territorial.

Durkheim (2004) em sua obra “Da divisão do trabalho social” publicada em 1893, traz para o centro do debate o conceito de solidariedade. Nesta sua análise, o autor cunha duas categorias: solidariedade mecânica (relacionada às “sociedades primitivas”) e solidariedade orgânica (sociedades modernas).

Com o advento da especialização das funções sociais no âmbito do trabalho, o autor alega que os indivíduos foram conduzidos a uma relação de dependência mútua, sendo enfatizada a cooperação. Daí decorre, seu conceito de solidariedade orgânica, cujo “avanço da divisão do trabalho é o que pode evitar a luta irracional pela sobrevivência, haja visto que cada indivíduo desenvolve uma função indispensável à sobrevivência da vida coletiva” (VARES, 2013, p. 154). Mas, o autor adverte que podem surgir fugas de rotas quando nas sociedades modernas, caracterizadas pela solidariedade orgânica, abre-se espaço para o indivíduo, que desfruta de um “espírito de autonomia”, “isto é, a capacidade de analisar, julgar, deliberar sobre determinada regra, está garantida, haja vista que o próprio indivíduo se tornou o valor máximo nas formações sociais atuais. Toda regra, portanto, para ser aceita e respeitada, deve estar em consonância com os ditames da razão e com a própria moralidade do indivíduo, pois tudo que fira a dignidade do homem em geral é passível de repulsa” (p. 18).

Colocada nesse aspecto e reconhecendo que estamos inseridos em um mundo ecologicamente interligado, embora socialmente fragmentado como afirma Acsehrad (2001), a solidariedade figura como princípio de busca de sustentabilidade e resiliência da cidade, tirando da mera condição de recebedora de água para torna-se responsável, via ações do poder público, de estratégias que viabilizam fontes alternativas de abastecimento, tais como reúso e dessalinização, dentre outras medidas de uso eficiente capazes de reduzir as externalidades e a transferência de riscos.

## 8.2 Instrumento de Compensação Financeira

A transferência de água no Sistema Jaguaribe-Metropolitano torna o processo de gestão da água complexo em virtude das diferentes realidades socioeconômicas e ambientais e das distintas considerações políticas. Além disso, a variabilidade e as mudanças do clima tendem a acirrar os conflitos inter-regionais e intersetoriais e a impor um risco operacional nos sistemas de recursos hídricos.

No sistema Jaguaribe Metropolitano, a transferência de risco ocorre da RMF para a Bacia do Jaguaribe, isto é, a Bacia do Jaguaribe que é detentora dos recursos hídricos transfere água para a RMF e, em período de escassez os riscos de desabastecimento ficam retidos nos usuários do Jaguaribe. A transferência de risco nesse sistema foi avaliada por Silva (2015) pela diferença de benefícios financeiros dos usuários de água após a alocação de água por dois métodos de rateio das disponibilidades hídricas: rateio linear e rateio com prioridade. O rateio linear foi utilizado como método base, pois, ele permite que os usuários tenham as mesmas garantias hídricas e, assim não ocorra transferência de risco. O rateio com prioridade se caracterizou pela escolha prioritária de um setor em detrimento de outros setores e de um segundo setor em detrimento dos restantes e assim por diante. Nesse caso, levou-se em consideração a Lei Nacional de Recursos Hídricos que expressa o seguinte como fundamento: “... em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais” (BRASIL, 1997).

A aplicação do estudo de Silva (2015) foi realizada para duas situações: (i) modelo agregado em que se construiu e avaliou-se o mecanismo financeiro; (ii) modelo desagregado em que se utilizou o sistema Jaguaribe-Metropolitano de forma integral e levou-se em consideração restrições oriundas de um sistema real. No modelo desagregado, as simulações foram realizadas por meio do programa ACQUANET no modo planejamento tático. O modelo agregado é uma situação virtual onde o reservatório Orós é considerado como único reservatório da bacia do Jaguaribe e sua vazão máxima alocável (Q90) é distribuída entre dois usuários: a irrigação (principal setor usuário da bacia do Jaguaribe) e o abastecimento urbano (representando a demanda de Fortaleza). Para isso, foi admitido que a demanda urbana correspondeu a 30% da demanda total e ao setor de irrigação aplicou-se 70% da demanda total.

A alocação de água no estudo foi realizada por meio de dois cenários de operação do sistema hídrico: vazão zero (estado mais crítico para o sistema) e previsão de vazão. Vale ressaltar que a operação do reservatório é o primeiro passo da alocação

da água estocada. Ela teve por objetivo definir a vazão a ser liberada para se atender a uma demanda, em função do estado atual do reservatório. A previsão de vazão teve por objetivo reduzir o erro da utilização da série histórica tanto na estimativa do valor esperado, como na redução da dispersão das vazões. Para prevêê-las, a autora utilizou a metodologia proposta por Souza Filho e Lall (2003).

Observou-se no estudo que no rateio linear, nenhum dos setores foi submetido ao colapso durante o período estudado enquanto que, no sistema de prioridades, a irrigação é submetida a maiores falhas apresentando 10 anos da série histórica em que a oferta de água foi completamente cessada a fim de fornecer a água para o abastecimento urbano. Neste caso, um grande déficit na oferta de água para o setor supracitado levaria a um custo social e econômico muito alto por isso, é necessário reduzir ou mitigar este risco, o que pode ser realizado com o uso de instrumentos econômicos e financeiros (Figura 71).

Utilizando a previsão climática com risco de 5% e alocação por prioridade, a autora identificou que a irrigação esteve em colapso na mesma frequência de ocorrência do cenário de vazão zero enquanto que, com o risco de 25% esse setor foi submetido ao colapso em apenas 5 anos. O desempenho da alocação de água para o setor de abastecimento humano e irrigação pode ser visualizado nas Tabela 23 e Tabela 24.

Observa-se nas Tabela 23 e Tabela 24, que a previsão climática aumenta a oferta de água do sistema e da irrigação, entretanto, só fornece melhores rendimentos ao abastecimento urbano quando se impõe um risco elevado. Em um sistema com tomadores de decisão aversos a risco resultado talvez não justificaria o uso da informação climática porque é preferível uma abordagem que minimize os riscos mesmo que ela gere arrependimentos futuros quanto a água que poderia ter sido fornecida.

Os valores expostos no cenário de vazão zero de Silva (2015) explicitam que durante os períodos de escassez, a prioridade de uso definido na Lei impõe um risco ao usuário de menor prioridade. No ato da alocação de longo prazo, todos os usos recebem água com a mesma garantia (90%) e o sistema de prioridade impõe a redução de garantia para alguns usos em favor do aumento de garantia para outros sem nenhum mecanismo de compensação financeira ou de seguro. Isto é uma situação de inequidade em longo prazo e uma incompatibilidade entre os mecanismos de alocação uma vez que existe uma discrepância entre as garantias outorgadas e as garantias efetivas dos sistemas hídricos.

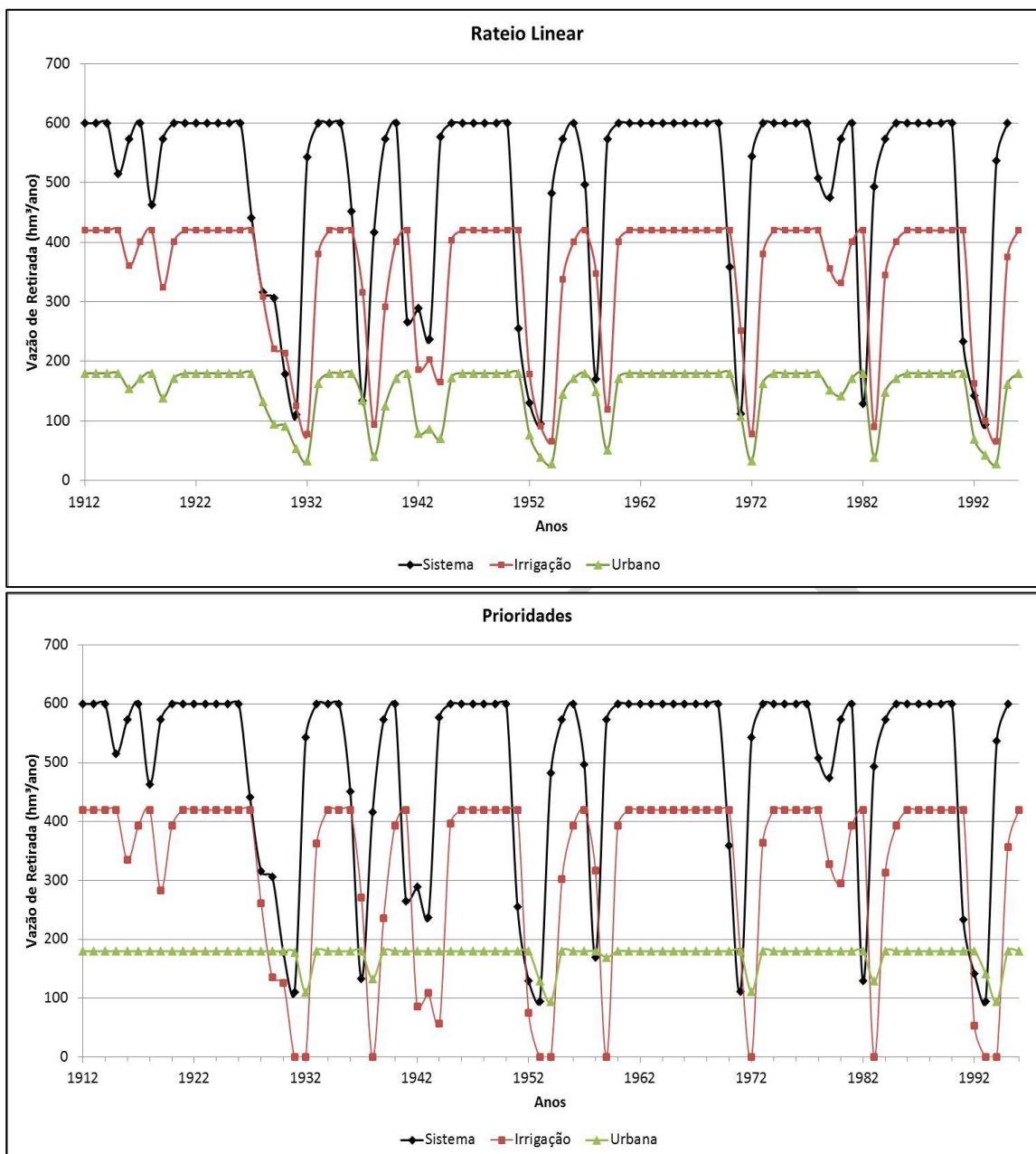


Figura 71. Vazão alocada com o mecanismo de prioridade e rateio linear ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ ) no cenário de vazão zero utilizando a série histórica de julho 1912 a julho 1996.

Fonte: Silva (2015).

Tabela 23 – Desempenho da alocação de água para o setor urbano no sistema de prioridade considerando o modelo agregado.

Critérios	Vazão Zero	Previsão de Vazão (Risco=5%)	Previsão de Vazão (Risco=25%)
Rendimento médio ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ )	174,04	170,10	174,53
Garantia (Volume)	0,97	0,94	0,97
Garantia (Frequência)	0,88	0,88	0,94

Fonte: Silva (2015).



Tabela 24 - Desempenho da alocação de água para o setor de irrigação no sistema de prioridade considerando o modelo agregado.

Crítérios	Vazão Zero	Previsão de Vazão (Risco=5%)	Previsão de Vazão (Risco=25%)
Rendimento médio (hm <sup>3</sup> /ano)	321,38	333,93	361,41
Garantia (Volume)	0,77	0,80	0,86
Garantia (Frequência)	0,54	0,60	0,72

Fonte: Silva (2015).

Igualmente, o setor de irrigação planeja a instalação de sua produção com base na garantia hídrica dada pelo Governo (Q<sub>90</sub> para o estado do Ceará) e, enquanto atividade que precisa de água para sua execução, a redução dessa garantia pode ocasionar a desestruturação do processo produtivo e do modo de vida das famílias que são dependentes da existência e uso deste para alcançar o desenvolvimento social e econômico.

Desse modo, a transferência de risco existente entre os setores e, a consequente inequidade do sistema mostram a necessidade de incorporar um mecanismo de gestão de risco climático na alocação de água.

Silva (2015) propôs um mecanismo financeiro para gerir os riscos climáticos na transferência de água entre o Jaguaribe e a RMF. Este mecanismo é uma vertente do seguro indexado, isto é, ele foi associado a um gatilho que estabelece o estado de seca do sistema sobre o quais as compensações foram estimadas (Figura 72). Para este estudo, foram delineados quatro estados de severidade de seca: seca moderada, seca severa, seca extrema, seca excepcional. Esses níveis de severidade estão associados à categoria da seca e, conseqüentemente, aos limiares do gatilho. Assim, quando o gatilho indicar algum estado de seca no reservatório, aciona-se o mecanismo e o usuário de água recebe uma compensação.

No modelo, o valor da compensação financeira aumenta à medida que a seca se torna mais severa. A seca moderada corresponde à fase de menor impacto aos agentes sociais e econômicos. A seca severa pressupõe a persistência da seca. O terceiro estado marca o agravamento desse evento, podendo gerar uma situação crítica de escassez hídrica aos agentes, enquanto que a seca excepcional é situação mais grave e que pode gerar impactos sociais e econômicos de longo alcance.

A autora testou dois gatilhos para o mecanismo. Um denominado de índice de seca e outro de Nível de Racionamento. Os índices de seca são gatilhos que visam a identificar o estado do reservatório em várias escalas temporais baseados na

precipitação (Standardized Precipitation Index - SPI), na vazão (Standardized Runoff Index - SRI) e no volume do reservatório (índice sintético - IS).

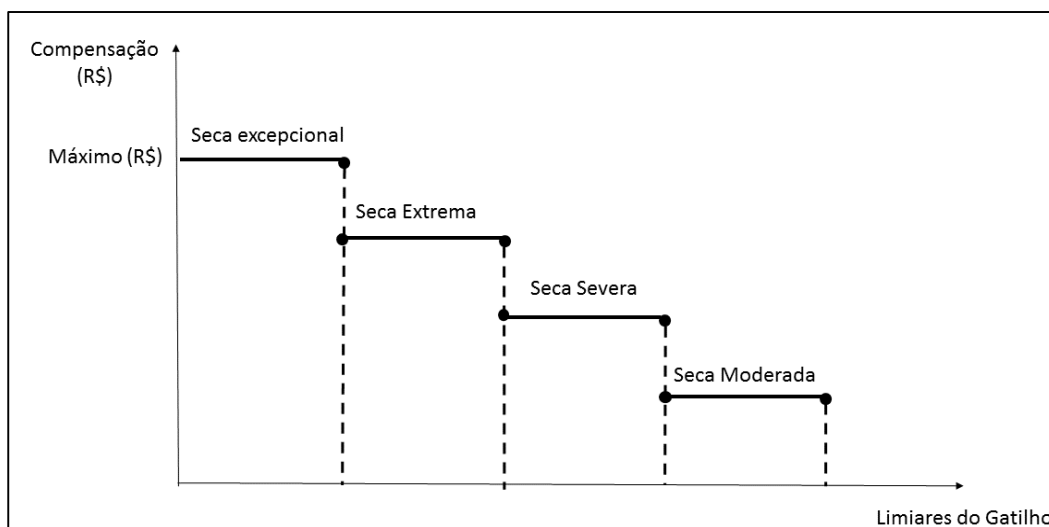


Figura 72 - Regra de operação do mecanismo financeiro.  
Fonte: Silva (2015).

O gatilho baseado no nível de racionamento foi elaborado considerando a vazão disponível para alocação obtida com a operação do reservatório. Nesse caso, as faixas que marcam o estado das águas superficiais do reservatório são limitadas por um percentual da retirada máxima. Esse percentual foi denominado de coeficiente de racionamento ( $C_{rac}$ ) e decrescem conforme aumenta a severidade da seca.

O gatilho escolhido no estudo para acionamento do mecanismo financeiro foi o Nível de Racionamento. Ele tem como variável central a vazão disponível para alocação (retirada controlada). A escolha dessa variável deu-se pela relação existente entre ela e o volume armazenado (Figura 73). Essa relação possibilita que o gatilho obtenha um bom desempenho tanto para a probabilidade de detecção de seca quanto para o falso alarme.

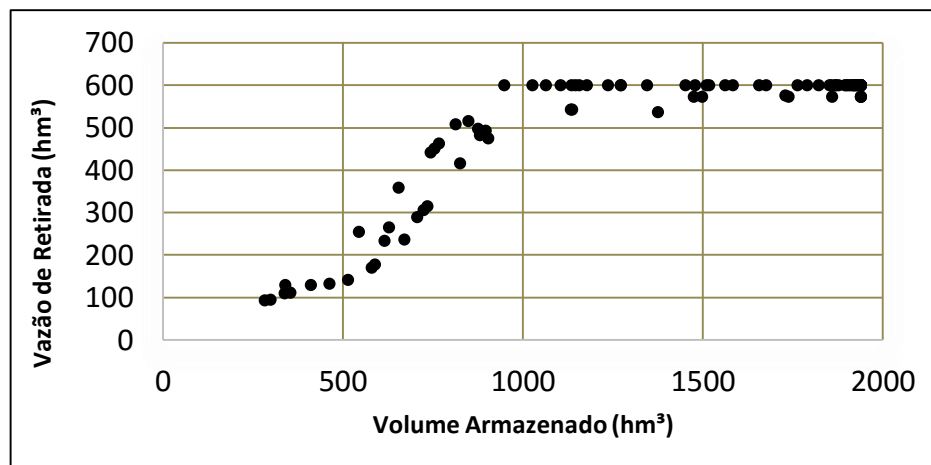


Figura 73 - Relação entre a retirada controlada e o volume armazenado no reservatório.  
Fonte: Silva (2015).

A compensação financeira foi projetada para o setor de irrigação devido à perda de garantia hídrica no período de escassez. A autora a estimou em função da quantidade de água utilizada, isto é, os irrigantes recebem o mesmo pagamento independentemente do tipo de cultura plantada. O valor da compensação financeira para cada estado de seca foi representado por um percentual do benefício da irrigação em cada sistema ( $B_j$ ) como pode ser visualizado na Tabela 25.

Utilizou-se a curva de demanda do sistema agregado proposto por Souza Filho e Brown (2009). A desagregação dessa curva foi realizada com base na parcela da demanda da irrigação pertencente a cada sistema. As funções benefício por sistema (Tabela 26) foram geradas por meio da integração das curvas de demanda desagregadas (Figura 74) admitindo o critério de homogeneidade das culturas.

Tabela 25 - Estimativa das compensações financeiras para o sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Estado de Seca	Compensação (R\$)
Normal	0,00
Seca Moderada	$20\% * B_j$
Seca Severa	$40\% * B_j$
Seca Extrema	$60\% * B_j$
Seca Excepcional	$80\% * B_j$

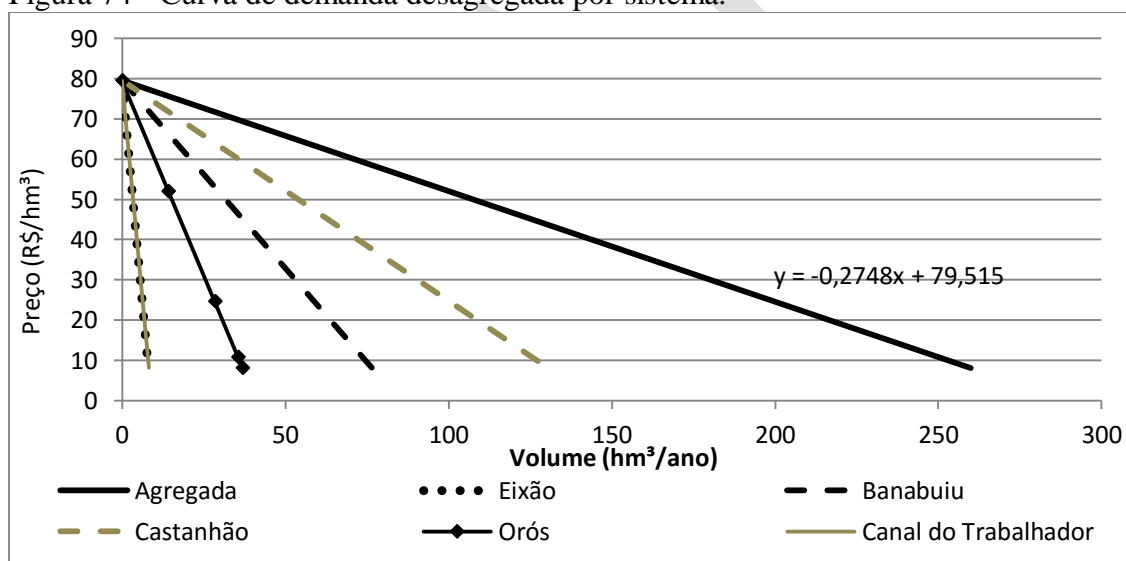
Fonte: Silva (2015).

Tabela 26 - Função benefício da irrigação por sistema.

Sistema	Funções (Milhões de Reais)	Vazão Máxima (hm <sup>3</sup> /ano)
Banabuiú	$B = \frac{-\left(0,467/2\right) \cdot Q^2 + 79,515Q}{1000}$	170,4
Canal do Trabalhador	$B = \frac{-\left(4,376/2\right) \cdot Q^2 + 79,515Q}{1000}$	18,2
Castanhão	$B = \frac{-\left(0,2774/2\right) \cdot Q^2 + 79,515Q}{1000}$	290,5
Eixão	$B = \frac{-\left(4,523/2\right) \cdot Q^2 + 79,515Q}{1000}$	17,6
Orós	$B = \frac{-\left(0,967/2\right) \cdot Q^2 + 79,515Q}{1000}$	82,1

Fonte: Silva (2015).

Figura 74 - Curva de demanda desagregada por sistema.



Fonte: Silva (2015).

Assim como a função de benefício da bacia do Jaguaribe, as funções por sistema também possuem rendimentos decrescentes a partir de uma determinada vazão alocada. A irrigação atendida pelo reservatório Orós, por exemplo, apresentou rendimentos decrescentes ao ultrapassar a vazão de 82,10hm<sup>3</sup>/ano.

A irrigação da bacia do Jaguaribe possui uma demanda de 628,64hm<sup>3</sup>/ano. Desse total, 29,44% pertence aos usuários atendidos pelo reservatório do Banabuiú, 50,19% aos usuários abastecidos pelo Castanhão, 3,14% são demandados pelos usuários

que recebe água do Canal do Trabalhador, 3,04% do Eixão e 14,19% é o percentual requerido pelos usuários do Orós.

Apesar de ser definido os benefícios para a irrigação abastecida pelas águas transportadas pelo canal do trabalhador e eixão, o pagamento da compensação financeira foi operado conforme o estado das águas do reservatório Castanhão.

O nível de Racionamento foi considerado como gatilho sendo que a retirada máxima do sistema hídrico correspondeu a demanda total do sistema (considerada de 40,81m<sup>3</sup>/s no estudo de Silva, 2015). Os limiares que definiram cada faixa do estado das águas superficiais podem ser visualizados na Tabela 27.

Tabela 27 - Limiares do Nível de Racionamento para o sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Estado	Nível de Racionamento (m <sup>3</sup> /s)
Normal	$R_t > (92\% * 40,81)$
Seca Moderada	$(62\% * 40,81) \leq R_t < (92\% * 40,81)$
Seca Severa	$(28\% * 40,81) \leq R_t < (62\% * 40,81)$
Seca Extrema	$(10\% * 40,81) \leq R_t < (28\% * 40,81)$
Seca Excepcional	$R_t \leq (10\% * 40,81)$

Fonte: Silva (2015).

A definição dos estados das águas dos reservatórios foi realizada utilizando o modelo Acquanet em quatro cenários de simulação (Tabela 28). Após as simulações avaliou-se as falhas das demandas e o volume final dos reservatórios de acordo com o fluxo de decisão apresentado na Figura 75. Nas simulações foram consideradas todas as restrições operacionais e físicas do sistema Jaguaribe-Metropolitano conforme já descritas em seções anteriores deste relatório.

Tabela 28 - Cenários de simulação para definição do estado das águas dos reservatórios.

Cenários	Retirada do sistema (m <sup>3</sup> /s)
C1	34,54
C2	25,30

C3	11,43
C4	4,08

Fonte: Silva (2015).

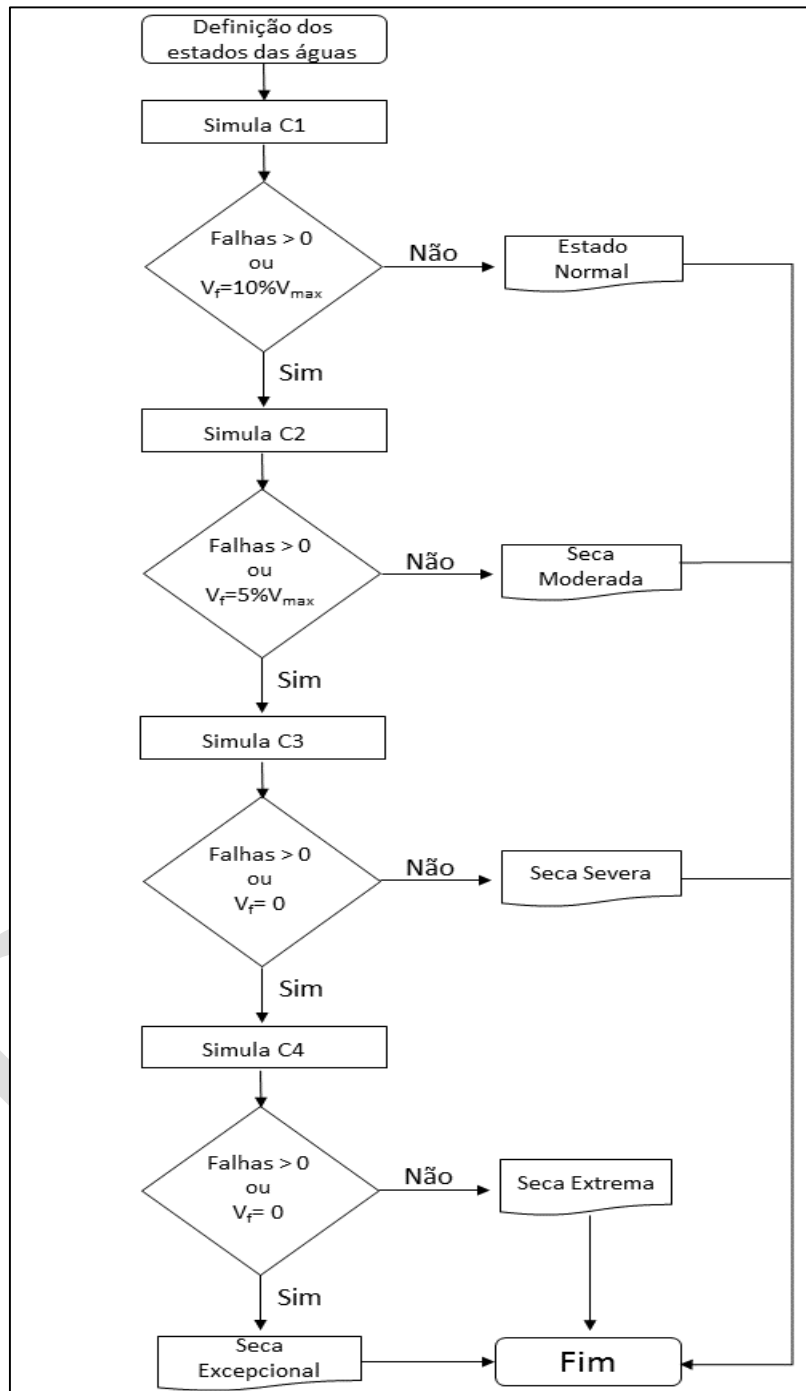


Figura 75 - Fluxograma de decisão do estado das águas dos reservatórios.  
Fonte: Silva (2015).

\*Vmax simboliza volume máximo do reservatório.

A compensação financeira foi arquitetada por Silva (2015) no intuito de ressarcir a irrigação pela perda de garantia hídrica, assim, ela foi calculada em função da quantidade de água requerida por esse setor.

Contudo, a agricultura perene necessita de água mesmo em anos muitos secos para manter os cultivares vivos. Sendo necessário resguardar um determinado volume de água com garantia (prioridade) de abastecimento mais elevada para salvar essa cultura. Adotou-se, por suposição, que a fração necessária de água para a irrigação de salvação é de 30% da demanda total da cultura perene. Com isso, o mecanismo financeiro foi orçado para uma demanda de  $17,18\text{m}^3/\text{s}$  que corresponde a 100% do volume requerido pela irrigação temporária e 70% do volume demandado pela irrigação perene.

Deste modo, o setor de irrigação atendido pelo Banabuiú possui compensações variando de R\$1.350.394,87 (quando for acionado seca moderada) a R\$ 5.402.579,43 (seca excepcional). Para a irrigação do Orós, as compensações variaram entre R\$ 659.413,06 (seca moderada) e R\$ 2.637.652,23 (Para aplicar o mecanismo de compensação financeira ao sistema Jaguaribe-Metropolitano foram utilizados quatro períodos críticos da série histórica de vazão como referência das condições da natureza: 1930 a 1932, 1951 a 1953, 1997 a 1999 e 1937 a 1939. O comportamento das vazões médias nesses períodos está exposto na Figura 78.

O período de 1930 a 1932 é o biênio mais seco para o sistema Jaguaribe-Metropolitano com vazão média de  $23,047\text{m}^3/\text{s}$ . Os anos de 1951 a 1953 ocupa a quinta posição dos biênios críticos com vazão média de  $32,008\text{ m}^3/\text{s}$ . O décimo biênio mais seco foram os anos de 1997 a 1999 com média das afluições de  $38,329\text{m}^3/\text{s}$ . Por último tem-se os anos de 1937 a 1939 que ocupa a vigésima quinta posição dos biênio mais seco com vazão média de  $59,689\text{m}^3/\text{s}$ .

).

Para a irrigação do canal do trabalhador obteve-se os seguintes valores de compensação: R\$ 169.396,46 ao ser acionado seca moderada no Castanhão, R\$ 338.792,93 quando o reservatório estiver em seca severa, R\$ 508.189,39 na seca extrema e R\$ 677.585,86 na seca excepcional (Figura 77).

A irrigação do Eixão das Águas possui os menores valores de compensação financeira em virtude de sua menor representatividade na demanda da bacia do Jaguaribe. Os valores calculados para essa irrigação foram: R\$ 130.117,25 quando o

Castanhão estiver em seca moderada, R\$ 260.234,51 ao ser acionado seca severa, R\$ 390.351,70 na seca extrema e R\$ 520.469,01 na seca excepcional (Figura 77).

Para aplicar o mecanismo de compensação financeira ao sistema Jaguaribe-Metropolitano foram utilizados quatro períodos críticos da série histórica de vazão como referência das condições da natureza: 1930 a 1932, 1951 a 1953, 1997 a 1999 e 1937 a 1939. O comportamento das vazões médias nesses períodos está exposto na Figura 78.

O período de 1930 a 1932 é o biênio mais seco para o sistema Jaguaribe-Metropolitano com vazão média de 23,047m<sup>3</sup>/s. Os anos de 1951 a 1953 ocupa a quinta posição dos biênios críticos com vazão média de 32,008 m<sup>3</sup>/s. O décimo biênio mais seco foram os anos de 1997 a 1999 com média das afluências de 38,329m<sup>3</sup>/s. Por último tem-se os anos de 1937 a 1939 que ocupa a vigésima quinta posição dos biênio mais seco com vazão média de 59,689m<sup>3</sup>/s.

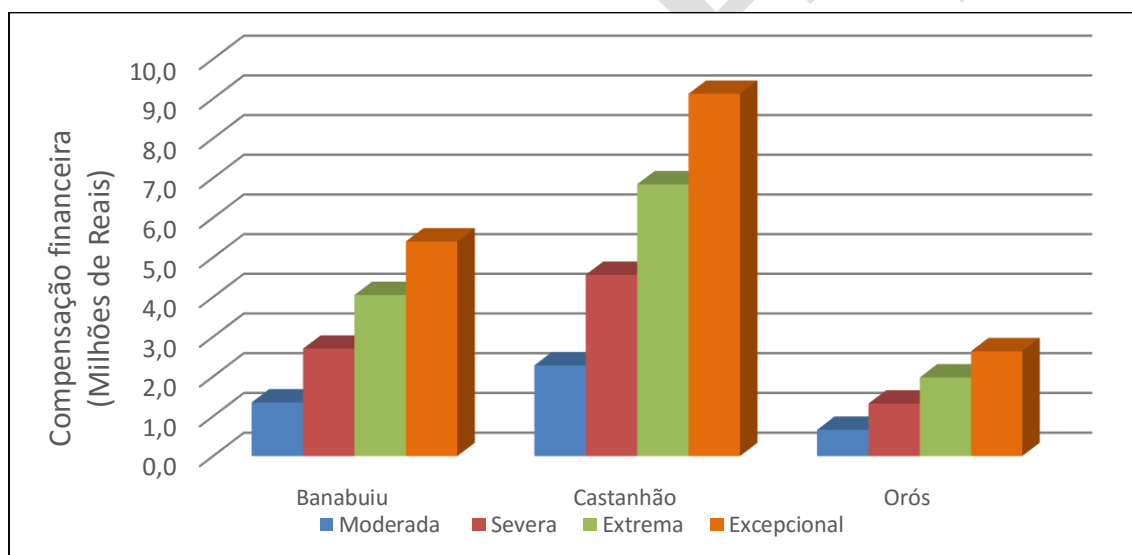


Figura 76 - Valores de compensação financeira da irrigação abastecida pelos reservatórios Banabuiú, Castanhão e Orós com exceção da irrigação do Canal do Trabalhador e Eixão.

Fonte: Silva (2015).



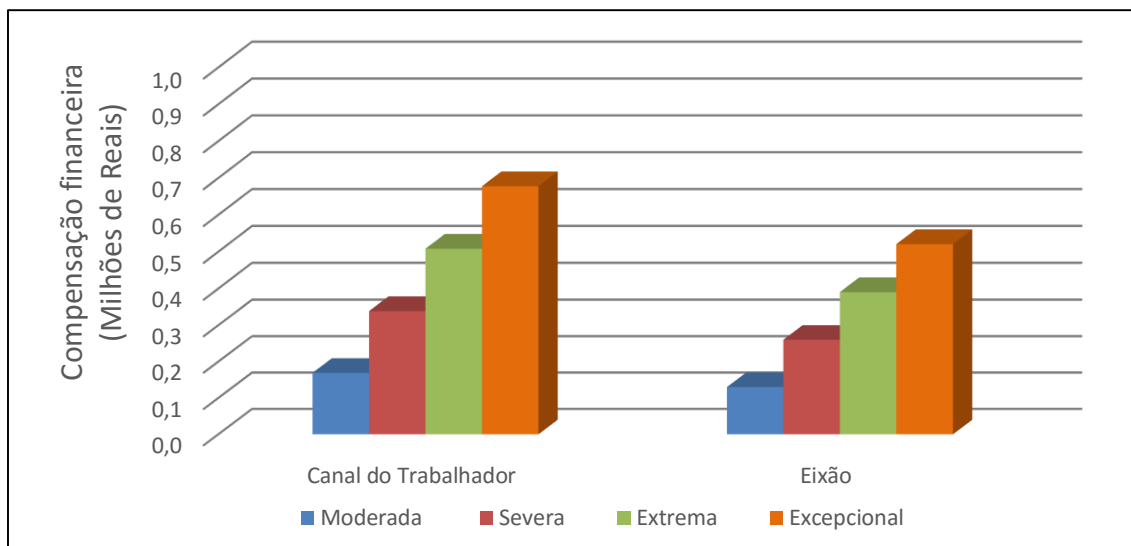


Figura 77 - Valores de compensação financeira da irrigação atendidas pelas águas do Canal do Trabalhador e do Eixão.

Fonte: Silva (2015).

Assim, para cada um desses biênios realizou-se a operação do sistema com vazão zero no período de julho a dezembro, admitindo as prioridades dos volumes metas e das demandas descritas no modelo de alocação e analisou-se qual o estado de seca dos reservatórios e qual o montante de recursos necessários para pagar a compensação. Esses resultados estão expostos para cada um desses biênios na sequência do texto.

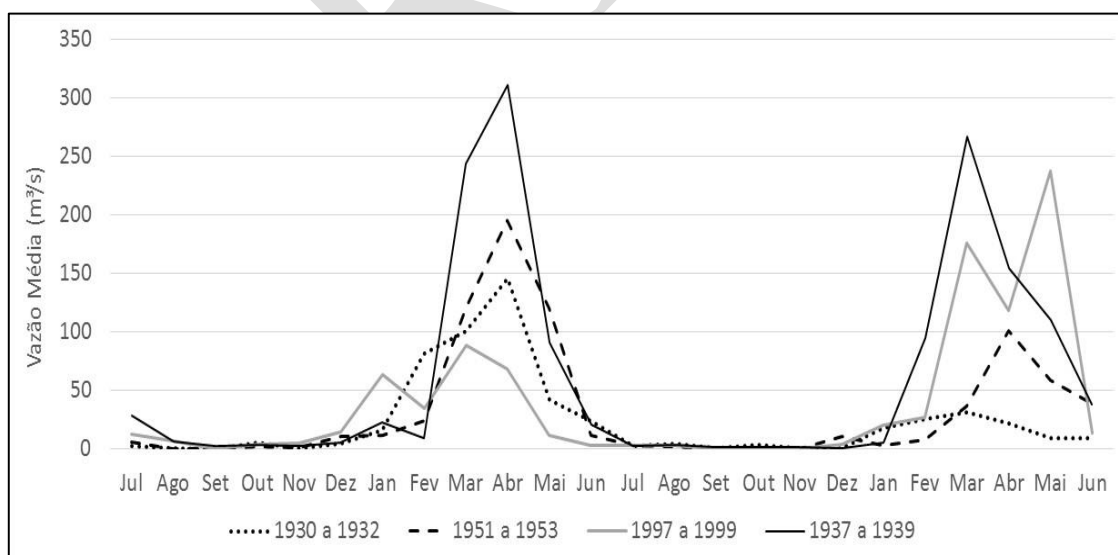


Figura 78 - Comportamento da afluência média para os biênios críticos.

Fonte: Silva (2015).

No modelo desagregado, os volumes iniciais dos reservatórios (volumes registrados em julho de 1912, 1913, 1914 e maio de 1915) evidenciaram que o total

precipitado sobre o sistema Jaguaribe-Metropolitano não foi suficiente para recuperar as recargas dos reservatórios fazendo com que a partir de 2014 já fosse detectado algum estado de seca neste sistema.

As simulações apontaram que os reservatórios, apesar de estarem interligados, apresentam estados de seca diferenciados em mesmo cenário. Assim, neste modelo observou-se a ocorrência de secas locais.

Os reservatórios da RMF, especificamente, não apresentaram estado de seca em nenhuma condição estudada. Isso ocorreu devido a ordem de prioridade do volume meta adotada na pesquisa e comprovou a situação de transferência de risco observada no modelo agregado. Nesse caso, o risco de seca é transferido da RMF para a bacia do Jaguaribe.

Na bacia do Jaguaribe, o maior usuário em termos de volume de água demandado é a irrigação, assim, esse setor também é o mais impactado quando reduz-se os níveis dos reservatórios. Esse fato ressalta a importância da compensação financeira como mecanismo de gestão de risco na alocação de água.

O mecanismo de compensação financeira foi construído em função da quantidade de água demandada pela irrigação sem levar em consideração o tipo de cultura. Isso pode ocasionar um descontentamento para usuários que irrigam culturas de alto valor comercial admitindo que o preço da água para ele teria um valor mais elevado que para o usuário que cultiva uma espécie de baixo valor comercial.

Sabendo que o mecanismo de compensação foi construído para o setor de irrigação avalia-se também, com base nas simulações do modelo desagregado, que é necessário discutir o desenvolvimento de medidas de gestão de risco para os outros grupos de usuários que também perdem suas garantias hídricas no período de escassez. Para a bacia do Banabuiú, por exemplo, as simulações expõem a necessidade de um plano de gestão de risco de seca que contenham medidas de mitigação para as cidades e toda a zona rural abastecida por esse reservatório.

Silva (2015) propôs também que o mecanismo financeiro fosse articulado ao instrumento de cobrança. Para isso, ela considera que o Comitê de Bacia teria que definir inicialmente as regras de priorização para alocação de água entre os usuários de uma mesma categoria de uso em períodos de escassez hídrica, uma vez que a Lei de Recursos Hídricos inseriu como usos prioritários apenas o abastecimento humano e a dessedentação animal. Esta seria uma maneira de associar a alocação de longo prazo com a alocação de curto prazo.

Assim, a cobrança pelo uso da água bruta passaria a ser composta por dois componentes: o primeiro relacionado com o volume consumido (tarifa atual) e o segundo associado à manutenção da garantia hídrica de 90% no período de seca. Uma hipótese para guardar os recursos arrecadados com a parcela da cobrança relacionada com a garantia hídrica seria a criação de um fundo de regularização. Para blindar o fundo de forma a não serem permitidos outros usos que não os associados à energia e coerção em anos secos sugerindo-se a contratação de uma resseguradora.

Os elementos construídos na pesquisa de Silva (2015) possibilitam a melhoria do processo de alocação de água e, conseqüentemente, o desenvolvimento de um sistema de recursos hídricos com maior resiliência, capacidade de adaptação e uma Fortaleza Solidária com a região do Jaguaribe.

## 9 BIBLIOGRAFIAS

ACSELRAD, Henri. **A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas**/Henri Acserald (org). Rio de Janeiro:DP&A, 2001.

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.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**. Nota Técnica n.º 390 / 2005/SOC. Brasília, 2005a.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Manual de Conservação e Reuso da água em Edificações**. Agência Nacional de Águas (ANA)/ Federação das Industrias do Estado de São Paulo (FIESP)/ Sindicato da Construção do Estado de São Paulo (SINDUSCONSP), 152 p., São Paulo, 2005b.

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.

ALVES, W. C.; ROCHA, A. L.; GONÇALVES, R. F. **Aparelhos Sanitários Economizadores**. In: Uso Racional da Água em Edificações / Ricardo Franci Gonçalves (Coord.). Rio de Janeiro : ABES, Projeto PROSAB, 352 p. 2006.

AMORIM, S. V. **Metodologia para estruturação de sistemas de informação para projeto dos sistemas hidráulicos prediais**, 1997. Tese (Doutorado), Engenharia Civil Escola Politécnica de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

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.

ARBUÉS, F.; GARCÍA-VALINÁS, M. A.; ESPINEIRA, R.M. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. **Journal of Socio-Economics**, v. 32, n. 1, p. 81–102, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. **Perdas de sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. 45p. 2013.

BAHRI, A. **Integrated Urban Water Management**. Global Water Partnership, Technical Committee background papers, No.16, GWP: Estocolmo, 2012.

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

BAPTISTA, M.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N. O. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora ABRH, 2005. 266p.

BAPTISTA, M.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N.O.. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora ABRH, 2005. 266p.

- BAUMAN, Zigmunt. **Modernidade Líquida**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Edittora, 2001.
- BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. 165f. 2005. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade federal do Espírito Santo, 2005.
- BENTO, L. V. **Governança e governabilidade da reforma do Estado: entre eficiência e democracia**. Editora Manole, 2003
- BOURDIEU, Pierre. **O senso prático**. 2. ed. Petrópolis, R.J.: Vozes, 2011.
- BRASIL, C. M. **Estimação da demanda residencial de água da CAGECE considerando não-linearidades na estrutura tarifária**. 62 p. 2009. Monografia (Bacharelado em economia), Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- BRASIL. **Lei Federal n. 9.433**, de 08 de janeiro de 1997, republicada em 22 de março de 2002, juntamente com o texto da Lei Federal n. 9.984/2000, que criou a Agência Nacional de Águas. 1997.
- 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.
- CAGECE. **Índice de cobertura**. 2016a. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/numeros/indice-de-cobertura>>. Acesso em: Fevereiro de 2016.
- CAGECE. **Nova Estrutura Tarifária**. 2016b. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/nova-estrutura-tarifariaa>>. Acesso em Fevereiro de 2016.
- CASTRO, José Liberal. **Contribuição de Adolpho Herbster à forma urbana da cidade da Fortaleza**. Revista do Instituto do Ceará. Fortaleza, vol. 108, 1994
- CASTRO, L. M. A. **Proposição de Indicadores para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 118p., 2002.
- CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará**. 182p. 1998. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998.
- CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. Tese de Doutorado. Inédito. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo/USP 156 p. 1998.
- CEARÁ. **Caderno Regional das Bacias Metropolitanas**. Pacto das Águas, volume 9. Pacto das Águas Compromisso Socioambiental Compartilhado. Assembléia Legislativa do Estado do Ceará – Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos (Orgs). Fortaleza – Ceará. 135p.
- CEARÁ. **Revisão do Plano de Gerenciamento das Águas das bacias Metropolitanas**. Ceará: Secretaria de Recursos Hídricos/Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2010.

CEARÁ/COGERH/VBA **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**. CD ROM. 1999.

CERTEAU, Michel de. **A Invenção do Cotidiano: Artes de Fazer**. Petrópolis, RJ:

COGERH, **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica/Financeira e Projeto Básico da Usina de Dessalinização da Água do Mar do CIPP**. Fortaleza, VBA, 2006.

COGERH. **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**. Relatório de fase III: Programação – Tomo I. Ceará: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, 227p. 1998.

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

COGERH. **Relatório**. In: XXII Seminário de alocação negociada das águas dos vales do Jaguaribe e Banabuiú. 2015.

COHIM, E.; ORRICO, S.; KIERONSKI, D. B. **Manejo e qualidade da água da chuva no meio urbano**. In: Santos, D. B; Medeiros, S. S; Brito, L. T. L; Gnadlinger, J.; Cohin, E.; Paz, V. P . S; Gheyi, H. J. (Org.). **Captação, Manejo e Uso da Água da Chuva**. 1ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, p. 109-209. 2015.

CORDEIRO, Celeste. **Brinquedos de memória. A infância em Fortaleza no início do século XX**. Fundação Demócrito Rocha, Fortaleza, 1996.

COUTINHO, A. C. R. A. M. **Reutilização de águas: Utilização de água cinza in situ**. 193f. 2009. Tese (Doutorado), Ciências de Engenharia, Universidade de Trás os Montes e Alto Douro. 2009.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 232f. 2012. Tese (Doutorado), Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

DRUMOND, P. P.. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 203p., 2012.

DURKHEIM, Émile. **Da divisão do trabalho social**. 2ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

ELIAS, Nobert. **A sociedade dos indivíduos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

EPA. **Control and mitigation of drinking water losses in distribution systems**. Washington: United States Environmental Protection Agency - EPA. 176p.

GIDDENS, A. **Admirável Mundo Novo: o novo contexto da política**. Cad. CRH., Salvador, n.21. p.9-28, jul./dez.1994

GOMES, M. C. R. **Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil como subsídio à gestão dos recursos hídricos**. 2013. 212f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2013.

GONÇALVES, O. M. **Manual de Conservação de Água**. Programa de Conservação de Águas, Gênese Takaoka, 107 p., São Paulo, 2007.

- GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da Água da Chuva**. In: KOBIYAMA, M.; USHIWATA, C.T.; AFONSO, M. A. Editora Organic Trading – Curitiba/PR. 2002.
- HEIJNEN, H. **Captação de água de chuva: aspectos de qualidade da água, saúde e higiene**. In: Santos, D. B; Medeiros, S. S; Brito, L. T. L; Gnadlinger, J.; Cohin, E.; Paz, V. P. S; Gheyi, H. J. (Org.). *Captação, Manejo e Uso da Água da Chuva*. 1ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, p. 75-91. 2015.
- HERRMANN T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, n.1, p. 307-316, 1999.
- 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.
- ISA. **Abastecimento de água e esgotamento sanitário nas capitais brasileiras**. São Paulo: Instituto Socioambiental – ISA, 2007. 23 p.
- IWA/BLUE PAGES. **Losses from Water Supply Systems: Standard terminology and Recommended Performance Measures**. London: IWA Publishing, 2000.
- JUAN, J. A. M. S. **Desalación de aguas salobres y de mar**. Osmose inversa. Madrid: Mundi-Prensa. 395p. 2000.
- JUCA, Gisafran Nazareno Mota. **Verso e reverso do perfil urbano de Fortaleza (1945-1960)**. São Paulo, Annablume; Fortaleza, Secretaria de Cultura e Desporto do estado do Ceará, 2000.
- KIRSHEN, P.; CAPUTO, L.; VOGEL, R. M.; MATHISEN, P.; ROSNER, A.; RENAUD, T. **Adapting Urban Infrastructure to Climate Change: A Drainage Case Study**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 141, No. 4, 2015.
- 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.
- LAZAROVA, V.; HILLS, S.; BIRKS, R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. **Water Supply**, 3(4), 69-77. 2003.
- LEE, J. G.; HEANEY, J. P. Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 129, No. 5, September 1, 2003.
- LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Ed. Documentos, 1969.
- LEMOS, 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.

MAIA NETO, Emy Falcão. **O Abastecimento de água em Fortaleza - CE (1813 – 1867)**. Revista Espacialidades [online]. 2014, v. 7, n. 1. ISSN 1984-817X. Acesso em 15 de dezembro de 2015.

MAILHOT, A.; DUCHESNE, S.. **Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 136, No. 2, March 1, 2010.

MARINHO, E, C. A. **Uso Racional da água em edificações públicas**. 72f. 2007. Monografia (Especialização), Curso de especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de Método para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 153p., 2006.

MARTINS, Carlos Benedito. **Em defesa do conceito de sociedade. Anthony Iliot & Bryan turner . On society . Cambridge, Polity Press (Resenha)**, Revista brasileira de ciências sociais- Vol. 28n° 82 2012. 196p

MEINSHAUSEN, M., S. J. SMITH, K. V. CALVIN, J. S. DANIEL, M. L. T. KAINUMA, J.-F. LAMARQUE, K. MATSUMOTO, S. A. MONTZKA, S. C. B. RAPER, K. RIAHI, A. M. THOMSON, G. J. M. VELDERS AND D. VAN VUUREN. The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their Extension from 1765 to 2300. **Climatic Change**, Special Issue, 2011. DOI: 10.1007/s10584-011-0156-z.

MILUTINOVIC, M. **Literature review of water demand**. 2006.

MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 164p., 2004.

NIEMCZYNOWICZ, J. **Urban hydrology and water management – present and future challenges**. Urban Water, Vol. 1, p. 1-14, 1999.

NIEMCZYNOWICZ, J. **Urban hydrology and water management – present and future challenges**. Urban Water, Vol. 1, p. 1-14, 1999.

NOBRE, Geraldo S. **João da Silva Feijó: Um Naturalista no Ceará**. GRECEL, Fortaleza, 1978.

OMS. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva: OMS. 1989.

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

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário**. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, Convênio de Cooperação Técnica entre Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece e Agência Reguladora de Fortaleza – ACFOR, 80p. 2014a.

PREFEITURA DE FORTALEZA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza**. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, Convênio de Cooperação Técnica entre Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece e Agência Reguladora de Fortaleza – ACFOR, Relatório de Andamento, 2014b.

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



RIGHETTO, A. M. (Org.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Projeto PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Vol.5, 396p., Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIGHETTO, A. M. (Org.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Projeto PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Vol.5, 396p., Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROSA, A. L. T. da; FONTENELE, R. E. S.; NOGUEIRA, C. A. G. **Estimativa da demanda de água residencial urbana no estado do Ceará**. In: EnANPAD 2006. Salvador/BA - Brasil: [s.n.], p. 1–16, 2006.

SABESP. **Equipamentos Economizadores**. 2012. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico- SABESP. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=145>>. Acesso em Fevereiro de 2016.

SANTOS, G. J. Sistema de reúso de água: projetos e estudos de casos”. In: Mancuso, P.C.S., Santos, H.F, *Reúso de Água*, 1.ed. cap. 14, Barueri, SP, Editora Manole, pp.501-511. 2003.

SANTOS-OLIVEIRA, J. *A lagunagem em Portugal: Conceitos básicos e aplicações práticas*. Lisboa: Edições Universitárias Lusófonas. 1995.

SCHERER, F. A. **Uso racional de água em escolas públicas: diretrizes para secretarias de educação**. 2003. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica de Engenharia, Universidade de São Paulo, 2003.

SECOVI - Sindicato das empresas de compra, venda, locação e administração de imóveis residenciais e comerciais de São Paulo. **Manual do Uso Racional da Água**. Secovi, p. 25, São Paulo, 2005.

SILVA, Samiria Maria Oliveira da. **Compensação financeira como mecanismo de gestão de risco na alocação de água**. Tese do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil com Área de Concentração em Recursos Hídricos. Fortaleza- Ceará- Brasil Universidade Federal do Ceará, 2015.

SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e Salinidade. *Rev. Tecnol.* Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 136-159, 2007.

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.

SILVA. José Borzacchiello da. **Os Incomodados não se retiram**. Ed. Multigraf, Fortaleza, 1992.

SILVEIRA, A. P. P; et al. **Dessalinização de águas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 245p.

SIMMEL, George. A natureza sociológica do conflito, in MORAES FILHO, Evaristo (org.). Sociologia. Simmel. **Coleção Grandes Cientistas Sociais**. São Paulo: Ática, 1983.

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

SOARES, D.M. **Programa de Controle e Redução de Perdas** – Diretoria Metropolitana de Distribuição – M. Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. São Paulo, 2004.

SOUZA FILHO, F. A. **Alocação de Água Sazonal e Anual: Modelos Matemáticos, Experimentação Comportamental e Justiça Alocativa**. 2005. 439 f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2005.

SOUZA FILHO, F. A. **Definição de mecanismos de alocação de água em período de escassez hídrica**. Nova Iorque: IRI/COGERH. 71p. 2007.

SOUZA FILHO, F. A.; BROWN, C. M. Performance of water policy reforms under scarcity conditions: a case study in Northeast Brazil. **Water Policy**, v. 11, p. 553-568, doi: 10.2166/wp.2009.141. 2009.

SOUZA FILHO, F. A.; LALL, U. Seasonal to interannual ensemble streamflow forecasts for Ceara, Brazil: Applications of a multivariate, semiparametric algorithm. **Water Resour. Res.**, v. 39, W1307, doi:10.1029/2002WR001373, 2003.

SOUZA FILHO, F. A.; SILVA, S. M. O.; CID, D. C.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M. Plano de Gestão de Secas em Cidades: Estudo de caso da Região Metropolitana de Fortaleza. FCPC/UFC/BANCO MUNDIAL: **Sistema de Suporte à Decisão às Secas**. 2015.

SOUZA, MARIA SALETE. **Fortaleza: Uma análise da Estrutura Urbana**. 3 Encontro de Geógrafos/AGB, Fortaleza, 1978.

SOUZA, V. C. B. **Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 151p., 2002.

SOUZA, L. F. Dessalinização como fonte alternativa de água potável. **Norte Científico**, v.1, n.1, 2006.

SRH. **Estudos para a definição e implementação da política tarifária de água bruta no estado do Ceará: 5º Relatório**. PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH. 2002a

Sustainable Water Management Improves Tomorrows Cities Health – SWITCH. **SWITCH Approach to Strategic planning for Integrated Urban Water Management (IUWM)**. Versão para o “Integration review” da União Europeia, Outubro de 2008.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. In TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 3ª edição. Depto de engenharia hidráulica e sanitária da Escola Politécnica da USP. 2006.

THOMAS, T. H.; MARTINSON, D. B. Roofwater harvesting. A handbook for practitioner. Delft: International Water and Sanitation Centre. **Technical Paper Series**, 49, 160p. 2007.

THORNTON, J. **Water loss control manual**. 1st ed. Hightstown: McGraw-Hill Professional, 2002.

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

TUCCI, C. E. M.. **Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C. E. M. (org.) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2 ed., EDUSP, Editora da UFRG, ABRH, Porto Alegre, p.805-847, 2001.

TUCCI, C. E. M.. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 7, nº1, Jan-Mar, 2002.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F.. **Controle do impacto da urbanização**. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T.. (Org.) *Drenagem Urbana*. 2 ed., EDUSP, Editora da UFRG, ABRH, Porto Alegre, p.277-347, 1995.

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.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Handbook: urban runoff pollution prevention and control planning**. EPA/625/R-93/004. 175p. Washington: EPA, 1993.

URBONAS, B.; STAHR, P.. **Stormwater: best management, practices and detention water quality drainage, and CSO management**. Prentice Hall. Englewood Cliffs, 449 p., 1993.

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.

VARES, Sidnei Ferreira de. **Solidariedade mecânica e solidariedade orgânica em Émile Durkheim: dois conceitos e um dilema**. Mediações, Londrina, V. 18 N. 2, P. 148-171, JUL./DEZ. 2013

VIEIRA, A. S. **Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina**. 190f. 2012. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2012.

VIGGIANO, M. H. S. **Sistemas de reuso das águas cinza**. Revista *Técne*, ano 13, n. 98, p. 76-79, 2005.

YÁGIZI, Eduardo. **A alma do lugar: turismo, planejamento e cotidiano em litorais e montanhas**. São Paulo: Contexto, 2001.

ZANELLA, L. **Viabilidade técnica e econômica da captação de água de chuva no meio urbano**. In: *Captação, manejo e uso de água de chuva*. Campina Grande, PB: INSA, p. 147-168, 2015.