



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA



SAMARA FERNANDA DA SILVA

**ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE E DEMANDA PARA O
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SALVADOR
FRENTE A CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Salvador, BA
2012

SAMARA FERNANDA DA SILVA

**ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE E DEMANDA PARA O
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SALVADOR
FRENTE A CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada a Escola
Politécnica da Universidade Federal da Bahia
como requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Meio Ambiente, Águas e
Saneamento

Orientador: Prof.º Dr. Lafayette Luz
Co-orientador: Prof.º Dr. Fernando Genz
(Rajendra)

Salvador, BA
2012

S586 Silva, Samara Fernanda da

Análise da disponibilidade e demanda para o sistema de abastecimento de água de Salvador frente a cenário de mudanças climáticas/ Samara Fernanda da Silva. – Salvador, 2012.

150 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Lafayette Luz

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Genz

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2012.

1.Problemas ambientais- mudanças climáticas. 2. Disponibilidade hídrica. 3. Bacia do rio Paraguaçu 4. Sistema de abastecimento de água - Salvador I Luz, Lafayette. II.Universidade Federal da Bahia. II. Título.

CDD363.7

Samara Fernanda da Silva

Análise da disponibilidade e demanda para o sistema de abastecimento de água de Salvador frente a cenário de mudanças climáticas.

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Salvador, 02 de março de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lafayette Dantas da Luz
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Prof. Dr. Fernando Genz
Universidade Federal da Bahia



Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Prof. Dr. Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



DEDICATÓRIA

A minha linda e amada família. Meu refúgio, minha motivação e fortaleza.

EPÍGRAFE

A vida é a arte de extrair conclusões
suficientes de premissas insuficientes.

(Samuel Butler)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Profs. Lafayette Luz e Fernando Genz (Rajendra), meus orientadores, pela competência, seriedade, atenção, motivação e conhecimentos transmitidos.

Aos Profs. da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Paulo Serrano e Andrea Fontes, pelas excelentes e imprescindíveis contribuições.

Aos meus queridos professores Márcia Marinho, Viviana Zanta, Magda Beretta, Luciano Matos, Severino Filho e Luiz Roberto Santos Moraes pelos incentivos e conhecimentos transmitidos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (MAASA-UFBA).

Aos profs. Eduardo Cohim, Asher Kiperstok e Karla Esquerre por me apresentar ao universo da pesquisa científica.

Aos meus amigos, pelo carinho, por compreender minha ausência e por levantar minha auto-estima mesmo quando eu estava desesperada com as pendências da dissertação. Agradecimento aos amigos do MAASA, especialmente a Katita, Mai e Gabi; da AMA – SENAI/CETIND; Gabriel, Carol, Teu, Tência, Simone Tosta, Alaíde Saldanha, Emília, Thiago Ramos, Toni, Mai Macedo, Nino, Nando, Flávia e Maria do Socorro.

À minha vizinha e amiga Kelly dos Anjos pela solidariedade e motivação.

Ao Grupo de Recursos Hídricos (GRH-UFBA), a CERB, ao INEMA e a Votorantim Energia pela liberação dos dados necessários.

Ao Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos- LABSID, especialmente a Alexandre Roberto, pelos constantes esclarecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por ter propiciado a bolsa para realização do mestrado.

À minha querida prof^a. Patrícia Borja pelo carinho, incentivo, motivação e ensinamentos.

À Ermenice Rocha, minha gratidão pelo apoio essencial na minha vida. A Ana Luiza e João Lucas pelo amor, alegrias e amizade.

Às minhas primas, especialmente, Thaís, Mara, Sara e Cíntia. Aos meus tios, avós, cunhada, sobrinhos e afilhados, pelas alegrias e divertimentos nos nossos raros encontros familiares.

Aos meus pais, Adão e Orleide, irmãos – Pollyanna, Tarcílio, Danielle e Amauri - que compreenderam minha ausência devido à dissertação.

Por fim, a Deus, pelo mundo repleto de oportunidades, pelas possibilidades a mim concedidas, por me iluminar e guiar.

AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Nome do Autor: Samara Fernanda da Silva

Assinatura do autor: _____

Instituição: Universidade Federal da Bahia

Local: Salvador, Ba

Endereço: Rua Aristides Novis, 02 - 4º andar, Federação - Salvador-BA - CEP.
40210-630

E-mail: samara.nanda@gmail.com

RESUMO

O aquecimento global vem promovendo mudanças climáticas, alterações na frequência e distribuição das chuvas e, conseqüentemente, nas vazões fluviais. Assim, esta dissertação objetivou avaliar a disponibilidade de água do reservatório da barragem de Pedra do Cavalo, para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento da cidade de Salvador, considerando os usos das águas na bacia e possíveis mudanças climáticas. Este reservatório está localizado na bacia do rio Paraguaçu, totalmente inserida no Estado da Bahia. Foram considerados doze cenários, sendo estes compostos por um arranjo de duas projeções de disponibilidade – sem e sob efeitos das mudanças climáticas (cenário A1B) – e seis diferentes projeções de demanda do sistema de abastecimento de água de Salvador. As simulações foram realizadas no modelo de rede de fluxo AcquaNet. Em relação aos efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica, considerando o cenário A1B para o período de 2011 a 2040, observou-se a uma redução significativa da vazão média mensal afluyente a Pedra do Cavalo e um pequeno aumento da taxa de evaporação, reduzindo a disponibilidade hídrica. Em conseqüência, houve uma diminuição nos índices de confiabilidade, elasticidade, vulnerabilidade e sustentabilidade do atendimento à demanda de Salvador e aos demais usuários das águas da bacia, incluindo a redução do potencial de geração de energia elétrica. Na análise de desempenho do sistema, observou-se que as projeções de demanda tiveram pequena influência quando comparadas à redução na disponibilidade hídrica decorrente das mudanças climáticas.

Palavras-Chave: mudanças climáticas, disponibilidade hídrica, bacia do rio Paraguaçu, sistema de abastecimento de água, Salvador.

ABSTRACT

Global warming has been promoting climate change, alterations in frequency and distribution of rainfall and, consequently, in river discharges. This dissertation aimed to evaluate the water availability of the Pedra do Cavalo reservoir to supply predicted demand of the water supply system of Salvador city, also considering the uses of water in the river basin and possible climate change. Pedra do Cavalo Dam is located in the Paraguaçu river, which basin is fully inserted in the State of Bahia. Twelve scenarios were considered, which were defined by an arrangement of two estimates of water availability – without and under the effects of climate change (scenario A1B) – and six different projections of water demand by the Salvador water supply system. The simulations were performed using the AcquaNet network flow model. About the effects of climate change on water availability, considering the scenario A1B for the 2011-2040 period, results showed a significant reduction in the mean annual streamflow annual discharge inflow at Pedra do Cavalo reservoir and a small increase in the evaporation rate, reducing the water availability. As a result, there was a decrease in reliability, resilience, vulnerability and sustainability indices to meeting the demand of Salvador and the other users of water in the basin. This included a reduction of the potential for hydropower generation. It was observed that the demand projections had a small influence on the system performance when compared to the reduction in water availability due to climate change.

Keywords: climate change, water availability, *Paraguaçu* river basin, water supply system, *Salvador*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Projeções das emissões de gases para os dos cenários futuros elaborados pelo IPCC	9
Figura 2: Diferença entre a média aritmética das vazões dos 12 modelos do IPCC aplicados para o período 2041-2060 em relação à normal climatológica em percentual do período de 1900-1970 para o cenário A1B	17
Figura 3: Representação de uma rede de fluxo com arcos e nós	30
Figura 4: Histórico do Consumo Médio Anual de Cidades Brasileiras	35
Figura 5: Histórico das Perdas na Rede de Distribuição de Sistemas de Abastecimento de Água – Capitais Brasileiras.....	40
Figura 6: Localização da bacia do rio Paraguaçu	47
Figura 7: Fluxograma Atual do Sistema de Abastecimento de Água de Salvador	52
Figura 8: Fluxograma Proposto para 2030 para o Sistema de Abastecimento de Água de Salvador	55
Figura 9: Desenho da Pesquisa	59
Figura 10: Rede de Fluxo da Bacia do rio Paraguaçu	65
Figura 11: Duração e volumes de déficit em período de falhas.....	79
Figura 12: Comportamento dos índices de desempenho	81
Figura 13: Vazões mensais afluentes aos reservatórios de Baraúnas, Casa Branca, Apertado e Bandeira de Melo	84
Figura 14: Vazões mensais afluentes aos reservatórios de França, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo.....	85
Figura 15: Efeito das mudanças do clima nas vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, cenário A1B – 2011-2040	86
Figura 16: Efeitos das mudanças climáticas sob as vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, cenário A1B, período de 2011 – 2040.....	88
Figura 17: Média das vazões máximas e mínimas mensais afluentes ao reservatório de Pedra do Cavalo	88
Figura 18: Cenários de projeção de demanda do Sistema de Abastecimento de Água de Salvador	97
Figura 19: Reduções, em relação à projeção de demanda 11, da demanda por água do Sistema de Abastecimento de Salvador e demanda industrial atendida pelo reservatório Pedra do Cavalo	98

Figura 20: Índices de confiabilidade referentes às demandas dos reservatórios a montante de Pedra do Cavalo.....	101
Figura 21: Elasticidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo	104
Figura 22: Vulnerabilidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo	105
Figura 23: Sustentabilidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo	106
Figura 24: Potência gerada (2011 – 2040) em Pedra do Cavalo a partir dos cenários propostos	107
Figura 25: Confiabilidade por década – Pedra do Cavalo	108
Figura 26: Sustentabilidade sem efeitos das mudanças climáticas do período de 2011-2021 – reservatório Pedra do Cavalo.....	110
Figura 27: Elasticidade por décadas – reservatório Pedra do Cavalo – sob efeitos das mudanças climáticas	111
Figura 28: Vulnerabilidade por décadas – reservatório Pedra do Cavalo – sob efeitos das mudanças climáticas	111
Figura 29: Sustentabilidade por décadas – reservatório Pedra do Cavalo – sob efeitos das mudanças climáticas	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Contribuições dos Relatórios publicados pelo IPCC	6
Quadro 2: Descrição dos Cenários Futuros Elaborados pelo IPCC	8
Quadro 3: Sub-rede da REDE CLIMA	11
Quadro 4: Previsões climáticas para as regiões do Brasil – Cenário A2 IPCC – para a segunda metade do século XXI	11
Quadro 5: Previsões climáticas para as regiões do Brasil – Cenário A2 IPCC – para a segunda metade do século XXI	18
Quadro 6: Perdas físicas por subsistema: origem e magnitude	39
Quadro 7: Perdas aparentes no sistema de abastecimento de água: origem e magnitude.....	42
Quadro 8: Métodos de Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água considerando às Mudanças Climáticas	44
Quadro 9: Nomenclatura do fluxograma da rede de fluxo da área da bacia do rio Paraguaçu .	66
Quadro 10: Estações climatológicas utilizadas para determinação da evaporação dos reservatórios.....	68

Quadro 11: Cenários considerados para avaliação das demandas de água para a bacia do rio Paraguaçu	78
Quadro 12: Classificação dos índices de performance	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Balanço hídrico histórico do sistema de distribuição de água de Salvador.....	53
Tabela 2: Índice de perdas do sistema de distribuição de água de Salvador – período de 1995 a 2007.....	53
Tabela 3: Restrições operacionais dos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu.....	67
Tabela 4: Esquema de prioridades	75
Tabela 5: Desvio padrão e coeficiente de variação das vazões médias mensais afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu	87
Tabela 6: Vazões de referência (Q_{90} em nível mensal) sem e sob efeito das mudanças climáticas.....	89
Tabela 7: Evaporação média mensal sem e sob efeito das mudanças climáticas (cenário A1B) nos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu.....	91
Tabela 8: Médias das variáveis que definem a evaporação.....	92
Tabela 9: Vazões médias mensais regularizadas, sem efeitos das mudanças climáticas, associadas às garantias – 1961-1990	94
Tabela 10: Vazões remanescentes – 1961-1990	95
Tabela 11: Relação entre a redução das demandas projetadas em relação ao cenário 11 e a demanda industrial – [$L.s^{-1}$ (%)]	99
Tabela 12: Confiabilidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo	103
Tabela 13: Elasticidade sem efeitos das mudanças climáticas do período de 2011-2021 – reservatório Pedra do Cavalo.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

AOGCMs – Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera

CEPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CERB – Companhia de Engenharia Ambiental da Bahia

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento

GCM – Modelos Globais Atmosféricos

GRH – Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal da Bahia

GT – Grupo de Trabalho

INGÁ – Instituto de Gestão das Águas e Clima da Bahia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – *Intergovernmental Panel for Climate Change*

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MGB – Modelo Hidrológico de Grandes Bacias

MMA – Ministério do Meio Ambiente

OMM – Organização Meteorológica Mundial

ONU – Organização das Nações Unidas

P+L – Produção mais Limpa

PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RCM – Modelo de Clima Regional

RPGA – Região de Planejamento e Gestão das Águas

REDE CLIMA – Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais

RMS – Região Metropolitana de Salvador

SAD – Sistema de Apoio a Decisão

SEDUR – Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Bahia

SETIN – Secretaria Municipal dos Transportes e Infraestrutura de Salvador

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SRES – *Special Report on Emissions Scenarios*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	4
2.1	Objetivo Geral	4
2.2	Objetivos Específicos	4
3	IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS.....	5
3.1	Estudos e Cenários das Mudanças Climáticas	5
3.2	Impactos das Mudanças Climáticas nas Águas.....	13
4	GESTÃO DAS ÁGUAS	21
4.1	Sustentabilidade Hídrica.....	22
4.2	Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil	25
4.3	Análise de Sistemas de Recursos Hídricos	26
4.4	Sistemas de Abastecimento de Água e a Gestão da Demanda.....	32
4.4.1	As Perdas dos Sistemas de Abastecimento	37
4.4.1.1	Perdas Físicas	38
4.4.1.2	Perdas Aparentes.....	40
4.4.2	Planejamento dos Sistemas de Abastecimento de Água	42
5	BACIA DO RIO PARAGUAÇU	46
6	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SALVADOR	50
7	METODOLOGIA.....	57
7.1	Obtenção das Séries de Dados	60
7.2	Definições Estruturais do Modelo de Rede de Fluxo	62
7.2.1.1	Restrições Operacionais dos Reservatórios	67
7.2.1.2	Evaporação nos Reservatórios	68
7.2.1.3	Definição das Demandas	69
7.2.1.3.1	Projeções das Demandas do Sistema de Salvador – Incorporando o Controle de Perdas.....	73
7.2.1.4	Definição das Prioridades.....	74
7.3	Avaliação da Capacidade de Regularização do Sistema.....	75

7.4	Simulação do sistema – Modelo de Rede de Fluxo	76
7.4.1	Período de Simulação	76
7.4.2	Definição de Critérios e Elaboração dos Cenários	76
7.4.3	Avaliação dos Resultados	78
8	RESULTADOS	83
8.1	Alterações na Disponibilidade	83
8.1.1	Avaliação das Vazões Afluentes	83
8.1.2	Avaliação das Taxas de Evaporação	90
8.2	Capacidade de Regularização do Sistema	93
8.3	Projeções das Demandas de Salvador	95
8.4	Avaliação dos Cenários	99
8.4.1	Confiabilidade – a montante de Pedra do Cavalo	100
8.4.2	Avaliação global – Pedra do Cavalo	102
8.4.3	Avaliação por década – Pedra do Cavalo	108
9	CONCLUSÃO	113
10	REFERÊNCIAS	122
	APÊNDICE A – DEMANDAS, POR RESERVATÓRIOS, DA BACIA DO RIO PARAGUAÇU	131
	ANEXO A – CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME	133

1 INTRODUÇÃO

Um dos impactos mais importantes sobre a sociedade do futuro em relação às mudanças climáticas serão as alterações na disponibilidade de água, pois isto implicará em modificações nos aspectos do bem-estar, da produtividade agrícola e uso de energia, do abastecimento de água humano e industrial, dos ecossistemas aquáticos e do manejo da fauna (XU, 1999). Assim, caberá aos usuários dos recursos hídricos reavaliarem suas demandas considerando os efeitos potenciais das mudanças climáticas.

As vazões fluviais superficiais, em geral, são caracterizadas com base nas estatísticas das séries observadas de precipitação na bacia hidrográfica e das vazões medidas nos rios, admitindo, que tais séries são estacionárias. Entretanto, Meller (2006) afirma que a variabilidade climática, as mudanças climáticas ou as modificações das tipologias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica afetam naturalmente destas séries.

A forma de gerenciar as águas deverá ser revista, pois há uma previsão de vulnerabilidade dos mananciais às mudanças climáticas, o que causará modificações na disponibilidade de água (IPCC, 2007b) e, também, espera-se que as tais mudanças alterem a frequência, a intensidade e a duração dos eventos extremos em muitas regiões (CHRISTENSEN *et al.*, 2007).

Os cenários projetados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel for Climate Change*), tanto os mais otimistas quanto os pessimistas, prevêem diminuição na disponibilidade hídrica no nordeste brasileiro com aumento da duração do período de estiagem (IPCC, 2008).

Estudo aponta uma redução de 73% das vazões médias do rio Paraguaçu (GENZ *et al.*, 2011). Esta previsão foi simulada considerando o cenário A2 do IPCC para o período de 2070 a 2100. Isto ocorrendo, alterará o quadro de alocação de água, bem como comprometerá o abastecimento de Salvador, visto que o reservatório de Pedra do Cavalo, localizado neste manancial, contribui atualmente com cerca de 60% do fornecimento de água desta cidade.

Entretanto, mesmo diante da possibilidade de redução da disponibilidade hídrica da bacia do rio Paraguaçu, o plano municipal de saneamento básico de Salvador, em fase de elaboração, continua sendo planejado desconsiderando o fenômeno das mudanças climáticas e apresenta somente a redução de perdas como alternativa de gestão da demanda (SETIN, 2010).

De acordo com SETIN (2010) o aumento das demandas de água da Região Metropolitana de Salvador (RMS) será atendido pela Barragem de Santa Helena, localizado no rio Jacuípe, por meio da reversão de vazões para o reservatório de Joanes II. Entretanto, um estudo conduzido por Genz *et al.*, (2010) sinaliza maiores impactos de redução de disponibilidade hídricas dos mananciais da bacia do Recôncavo Norte e, portanto, do rio Jacuípe onde está localizado o reservatório de Santa Helena.

Os modelos climáticos apresentam cenários de redução da precipitação e, conseqüentemente, das vazões dos rios que são aproveitados para o atedimento do abastecimento de água de Salvador. Deste modo, é necessário incluir no planejamento do sistema de abastecimento de água a incerteza das projeções das mudanças climáticas de modo a buscar o equilíbrio entre disponibilidade e demanda.

Nesse contexto, duas questões devem ser consideradas no planejamento dos sistemas de abastecimento de água de Salvador: há previsão de redução da disponibilidade hídrica e, desta forma, faz-se necessário reduzir a pressão sobre os recursos hídricos de modo a melhorar a eficiência das utilizações das águas existentes (GLEICK, 2010).

Diante do exposto, esta dissertação visa realizar uma avaliação entre a disponibilidade hídrica futura do reservatório de Pedra do Cavalo para o atendimento à demanda do sistema de abastecimento de Salvador por meio de projeções da demanda e de disponibilidade hídrica considerando cenário de mudanças climáticas.

Este trabalho se justifica mediante a possibilidade de falhas no atendimento de água para o abastecimento de Salvador, intensificação de conflitos pelo uso das águas e pela inexistência de estudos de avaliação dos impactos no abastecimento devido às mudanças climáticas.

Assim, esta dissertação pretende responder as seguintes perguntas:

- As alterações das vazões afluentes ao reservatório de Pedra do Cavalo decorrentes das mudanças climáticas serão significativas em relação ao atendimento da demanda do sistema de abastecimento de Salvador em curto prazo (2012-2040)?
- Em que grau, ações visando à redução da demanda do sistema de abastecimento de Salvador serão suficientes para manter o equilíbrio com a disponibilidade hídrica decorrente das mudanças climáticas?

Assim, as hipóteses desta dissertação são:

- Haverá redução da disponibilidade hídrica da bacia do rio Paraguaçu em consequência das mudanças climáticas;
- A redução da disponibilidade hídrica do reservatório de Pedra do Cavalo comprometerá o abastecimento de água de Salvador; e,
- Medidas de redução da demanda, tais como redução de perdas e do consumo, serão determinantes no equilíbrio entre disponibilidade versus demanda hídrica.

Espera-se que os resultados desse trabalho possam colaborar no gerenciamento das águas da bacia do rio Paraguaçu, bem como contribuir na elaboração dos planos de gestão de bacia e do saneamento com intuito de adotar medidas preventivas e mitigadoras relativas às questões abordadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a disponibilidade de água do reservatório de Pedra do Cavalo, para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento de Salvador, considerando os usos das águas na bacia e possíveis mudanças climáticas.

2.2 Objetivos Específicos

A partir do objetivo geral, têm-se como objetivos específicos:

- Avaliar a disponibilidade hídrica do reservatório de Pedra do Cavalo sem e com efeito das mudanças climáticas;
- Definir critérios para elaboração dos cenários;
- Elaborar projeções da demanda para o abastecimento de água de Salvador;
- Avaliar por meio de indicadores de *performance* (confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade) o desempenho do reservatório de Pedra do Cavalo no suprimento da demanda do sistema de abastecimento de Salvador.

3 IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS

O objetivo desse capítulo é apresentar sucintamente os estudos e cenários das mudanças do clima e, principalmente, estudos dos impactos destas mudanças na disponibilidade das águas superficiais. Esta dissertação não tem como objetivo aprofundar a discussão das causas e origem das mudanças climáticas, mas sim, partir do princípio desta expectativa e discutir suas consequências na disponibilidade hídrica, em especial, para o abastecimento humano.

3.1 Estudos e Cenários das Mudanças Climáticas

Os estudos das possíveis alterações do clima iniciaram após a identificação do aumento da temperatura média da superfície da Terra. Em 1988, a Organização das Nações Unidas (ONU), por meio da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criou o Painel Intergovernamental sobre as Mudanças do Clima – IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

O IPCC é uma rede internacional de especialistas, encarregada de estudar, apoiar e divulgar trabalhos científicos nas avaliações do clima e os cenários de mudanças climáticas para o futuro, seus impactos e níveis de adaptação ao aquecimento, bem como buscar alternativas econômicas sustentáveis para proteger o clima do planeta, visando prover as bases científicas necessárias para a tomada de decisão pelos Estados.

O IPCC possui três grupos de trabalho: o GT1 - “As Bases Científicas”, em que se avaliam os aspectos científicos do sistema climático e das mudanças climáticas; GT2 - “Impactos, Adaptações e Vulnerabilidades”, que aborda a vulnerabilidade socioeconômica e dos sistemas naturais, as consequências negativas e positivas e a possibilidade de adaptação a estas mudanças; e o GT3 – “Mitigação”, que analisa as possibilidades de limites das emissões de gases efeito estufa e a mitigação das alterações climáticas.

Esse painel é composto por pesquisadores das áreas de climatologia, meteorologia, hidrometeorologia, biologia e ciências afins, os quais se reúnem

constantemente. Este painel publicou quatro relatórios, sendo o primeiro em 1990, o segundo 1996, o terceiro em 2001 e o último em 2007. O Quadro 1 apresenta os impactos/relevância dos quatro relatórios do IPCC.

Quadro 1: Contribuições dos Relatórios publicados pelo IPCC

Relatório	Ano de Publicação	Relevância
Primeiro Relatório Científico (FAR)	1990	Foi a base científica para os trabalhos realizados na Convenção sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas em 1992 no Rio de Janeiro.
Segundo Relatório Científico (SAR)	1996	Forneceu as bases para as negociações-chaves que levaram à adoção do Protocolo de Kyoto, em 1997
Terceiro Relatório Científico (TAR)	2001	Concluiu que as recentes mudanças climáticas já estão afetando os sistemas físicos (clima, recursos hídricos) e biológicos (ecossistemas, saúde, humana, cidades).
Quarto Relatório Científico (AR4)	2007	Confirma que o Planeta está aquecendo e que este aquecimento e a elevação do nível do mar continuarão por muitos séculos, mesmo se as concentrações dos gases de efeito estufa fosse estabilizadas.

Segundo Marengo *et al.* (2003 b), os processos que envolvem a circulação geral da atmosfera não podem ser determinados de forma completa, uma vez que são extremamente complexos e possuem comportamentos caóticos.

Os modelos climáticos (GCMs e AOGCMs, denominados respectivamente Modelos Globais Atmosféricos e Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera) são ferramentas utilizadas para realizar as projeções do clima no futuro. Estas projeções são determinadas considerando diferentes níveis de emissões dos gases de efeito estufa e aerossóis ou cenários (SRES –*Special Report on Emissions Scenarios*), numa combinação coerente e consistente de hipóteses sobre forçantes controladoras, tais como: demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudança na tecnologia, assim como suas interações (IPCC 2001), mas, segundo Marengo *et al.* (2011), sem a inclusão explícita de políticas de reduções das emissões.

Em geral, há poucas instituições onde são executados os modelos climáticos globais, pois os mesmos demandam enormes recursos computacionais. O

Centro de Distribuição de Dados do IPCC (DDC/IPCC) disponibiliza os relatórios publicados pelo painel e os cenários climáticos, resultado das projeções de 23 modelos dos principais centros de modelagem do clima no mundo. Dentre as instituições e os respectivos modelos acoplados oceano-atmosfera utilizados nas simulações do IPCC, tem-se:

- *Center for Climate Studies and Research CCSR/National Institute for Environmental Studies NIES*, do Japão (CCSR/NIES).
- *Canadian Center for Climate Modeling and Analysis*, do Canadá (CCCMA);
- *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, da Austrália (CSIRO-Mk2);
- *National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA-Geophysical Fluids Dynamic Laboratory*, dos Estados Unidos (GFDL-CM2);
- *Hadley Centre for Climate Prediction and Research*, da Inglaterra (HadCM3).

Os AOGCMs podem oferecer informações de grande utilidade sobre mudanças de clima em escala continental, entretanto, devido a efeitos orográficos e eventos extremos do clima, não representam bem as mudanças no clima local, tais como as tempestades ou frentes e chuvas, sendo para isto necessário regionalizar os cenários climáticos usando modelos regionais (*downscaling* dinâmico) ou funções estatísticas (*downscaling* empírico ou estatístico) (MARENGO, 2007). Os modelos regionais são de resolução mais alta, alimentado nas fronteiras pelas condições produzidas pelo modelo global (SILVA, 2005).

Existe um grau de incerteza do futuro cenário climático do planeta e em particular no Brasil, devido principalmente às diferenças observadas nas saídas dos diferentes modelos usados nas projeções climáticas (MARENGO, 2007). Marengo *et al.* (2011) dividem estas incertezas em quatro categorias: incertezas das emissões, das concentrações de gases de efeito estufa, da variabilidade natural do tempo e clima e da modelagem, as quais fazem parte de qualquer projeção de mudanças climáticas.

Em 1996 o IPCC utilizou os cenários IS92 que foram elaborados com base nas futuras emissões de gases de efeito estufa e aerossóis e da proporção de emissões remanescentes na atmosfera (IPCC 2001).

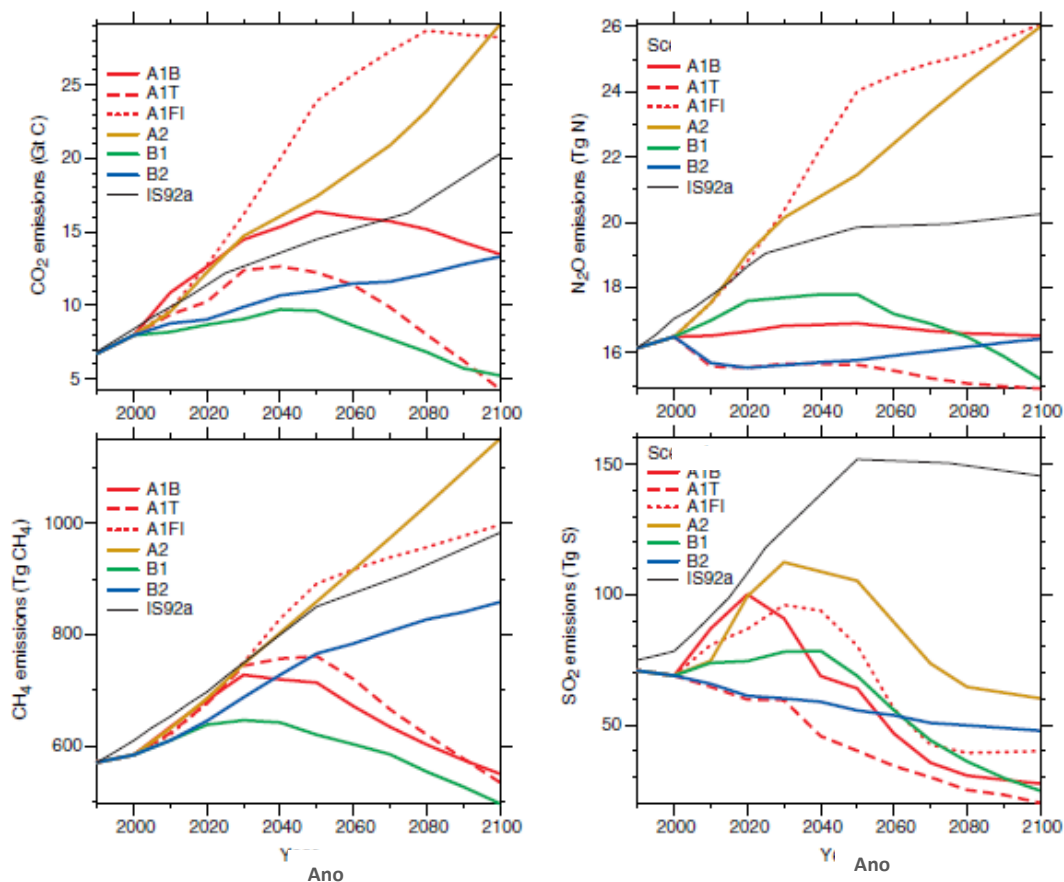
A partir de 2000, o IPCC elaborou novos cenários de emissões, sendo estes fundamentados numa interação de desenvolvimento tecnológico, social, demográfico e de níveis de gases de efeito estufa (IPCC 2001). Assim, foram definidos pelo IPCC quatro conjuntos de cenários denominados “famílias”: A1, A2, B1 e B2, onde a família A1 se compõe de três grupos (A1F1, A1B e A1T). O detalhamento dos cenários elaborados em 2000 encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2: Descrição dos Cenários Futuros Elaborados pelo IPCC

Cenários do IPCC	Descrição do mundo futuro
A1	A globalização é dominante. Neste cenário o crescimento econômico é rápido e o crescimento populacional é pequeno com um desenvolvimento rápido de tecnologias mais eficientes. Os temas subjacentes principais são: a convergência econômica e cultural, com uma redução significativa em diferenças regionais e renda per capita. Neste mundo, os indivíduos procuram riqueza pessoal em lugar da qualidade ambiental. Há três cenários: A1B (cenário de estabilização), A1F (máximo uso de combustível fóssil) e A1T (mínimo de uso de combustível fóssil).
A2	Muito heterogêneo onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Outras características são: um crescimento populacional alto, menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido.
B1	Rápida mudança na estrutura econômica mundial, onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais, à sustentabilidade ambiental e social e inclui esforços combinados para o desenvolvimento de tecnologias rápidas.
B2	Ênfase está em soluções locais, à sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

Fonte: IPCC (2001)

Na Figura 1 são apresentadas as projeções das concentrações dos gases de efeito estufa (SO₂, CO₂, N₂O e CH₄) para os diversos cenários elaborados pelo IPCC.



Fonte: IPCC (2001)

Figura 1: Projeções das emissões de gases para os dois cenários futuros elaborados pelo IPCC

Segundo o Relatório do IPCC (2007), para as próximas duas décadas, projeta-se um aquecimento médio anual de cerca de $0,2^{\circ}\text{C}$ por década e, mesmo que as concentrações de todos os gases de efeito estufa e aerossóis se mantivessem constantes nos níveis do ano 2000, haveria um aquecimento adicional de cerca de $0,1^{\circ}\text{C}$ por década. A projeção mais otimista dá conta de que o aumento de temperatura projetada seria de $1,8^{\circ}\text{C}$ até 2100, o que requereria uma redução de 70% nas emissões dos gases até 2050 (IPCC, 2007 c).

Segundo Marengo (2007) cerca de 75% das emissões do Brasil provém dos desmatamentos (2/3 na Floresta Amazônica e 1/3 no Cerrado), queimadas e mudanças no uso da terra. Este percentual equivale a cerca de 4% do total mundial de emissões de gases. Algumas projeções dos modelos climáticos têm mostrado que nas próximas décadas, existe risco de uma mudança abrupta e

irreversível em parte ou em toda a Amazônia, com consequentes impactos climáticos nas regiões vizinhas e no mundo todo (MARENGO *et al.*, 2011).

A partir de 2009 os ministérios do Meio Ambiente (MMA) e da Ciência e Tecnologia (MCT) instituíram o Painel Brasileiro sobre Mudanças do Clima (IPCC Brasileiro). Nos mesmos moldes do IPCC da ONU, o painel brasileiro busca compilar, analisar e divulgar a produção científica brasileira a respeito dos mais diferentes aspectos das alterações do clima no país, cabendo a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (REDE – CLIMA) a geração dos relatórios, estes também similares àqueles do IPCC da ONU.

Essa rede foi criada pelo MCT, por meio da Portaria nº 728/2007, sendo um dos instrumentos para a atuação da Política Nacional de Mudança do Clima – PNMC (Lei nº 12.187/09). A REDE – CLIMA tem como objetivos, dentre outros, gerar e disseminar conhecimentos e tecnologias para que o Brasil possa responder aos desafios representados pelas causas e efeitos das mudanças climáticas globais; produzir dados e informações necessárias ao apoio da diplomacia brasileira nas negociações sobre o regime internacional de mudanças do clima e, realizar estudos sobre os impactos das mudanças climáticas globais e regionais no Brasil, com ênfase nas vulnerabilidades do País às mudanças climáticas (REDE CLIMA, 2009).

A REDE CLIMA é composta por sub-redes temáticas (Quadro 3), dentre estas, as de recursos hídricos e modelagem climática. A primeira objetiva avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, enquanto a segunda desenvolve e utiliza modelos numéricos do sistema climático global para projetar as mudanças climáticas em escalas global e regional, disponibilizar e facilitar o uso de modelos climáticos e seus componentes para a comunidade científica nacional.

A sub-rede de modelagem climática é responsável por desenvolver o Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global, cuja coordenação institucional compete ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) instalou o modelo regional de circulação geral atmosférica - modelo ETA, sendo este adaptado do modelo global HadCM3 do *Met Office Hadley Centre* (MOHC).

Quadro 3: Sub-rede da REDE CLIMA

REDE CLIMA	
Sub – Redes	Instituição coordenadora
Biodiversidade e Ecossistemas	Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG –PA)
Recursos Hídricos	Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Desenvolvimento Regional	Universidade de Brasília (UnB)
Cidade	Universidade de Campinas (Unicamp)
Energias Renováveis	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Agricultura	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Campinas)
Saúde	Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)
Economia das Mudanças Climáticas	Universidade de São Paulo (USP)
Modelagem	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – São José dos Campos/Cachoeira Paulista)
Zonas Costeiras	Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG – RS)

Fonte: REDE – CLIMA (2009)

No Brasil, devido aos esforços computacionais exigidos e aos custos associados, os cenários futuros estão sendo projetados em fatias de tempo (*time slices*) de 30 anos cada um (2010-2040, 2041-2070, 2071-2100).

No Quadro 4 são apresentadas as previsões de temperaturas previstas para as regiões brasileiras para o cenário A2 do IPCC.

Quadro 4: Previsões climáticas para as regiões do Brasil – Cenário A2 IPCC – para a segunda metade do século XXI

Região	Previsão
Norte	4-8 °C mais quente e 15-20% mais seco e atraso da estação chuvosa. Pode afetar a biodiversidade Amazônica e a floresta, níveis dos rios mais baixos, redução do transporte de umidade para sudeste e sul do Brasil afetando chuvas nestas regiões, mais incêndios florestais. Impactos no transporte fluvial, na saúde da população, e na geração de energia hidroeétrica.
Nordeste	2- 4 °C mais quente e 15-20% mais seco. Alta evaporação que pode afetar níveis de açudes. Pode afetar biodiversidade na caatinga. Impactos na agricultura de subsistência e na saúde da população. Área mais afetada seria o Semi-árido.
Sul	2-4 °C mais quente, 5-10% mais chuvoso ainda que a umidade que vem da Amazônia seja menor. Altas evaporações devido a altas temperaturas podem afetar o balanço hídrico. Extremos de chuva, enchentes e temperaturas mais intensos. Impactos na agricultura e na saúde da população, e na geração de energia hidroeétrica.
Sudeste	3-6 °C mais quente, os extremos de chuva, enchentes e temperaturas podem ser mais intensos. Impactos na agricultura e na saúde da população, e na geração de energia hidroeétrica
Centro – Oeste	3-6 °C mais quente, não tem certeza sobre mudanças na chuva. Pode afetar biodiversidade do cerrado e Pantanal. Impactos na agricultura e na saúde da população.

Fonte: Barbieri *et al.* (200-)

Dentre os possíveis impactos das mudanças climáticas na Amazônia devido às emissões tem-se: o aumento da frequência de incêndios, a perda de biodiversidade, redução da precipitação devido à redução da evapotranspiração e intensificação dos fenômenos *El Niños* e dos extremos de secas e enchentes, alteração da distribuição das chuvas e da disponibilidade hídrica no Brasil (MARENGO & SOARES, 2003).

O INPE e o *Met Office Hadley Centre* (MOHC) do Reino Unido uniram seus conhecimentos sobre modelagem climática e o clima do Brasil a fim de entender quais serão as condições climáticas no Brasil no futuro e como o desmatamento da Amazônia pode afetar o clima local e o regional (MARENGO *et al.*, 2011). As projeções determinadas neste estudo foram para o cenário A1B. Estes centros observaram grandes reduções percentuais nas precipitações pluviométricas e de elevações das temperaturas do ar na Amazônia, com mudanças mais acentuadas depois de 2040, com impactos na formação de precipitações em regiões distantes da própria Amazônia.

Para a região semi-árida do nordeste a previsão é de ambiente semelhante a um deserto: mais seco, menos precipitação, solos mais pobres, menor diversidade biológica e alguns lugares inabitáveis (BARBIERI *et al.*, 200-). Para estes autores as consequências sociais e econômicas das mudanças climáticas da região nordeste do Brasil para 2050 são:

- Redução média de 11,4% do Produto Interno Bruto (PIB) e diminuição das terras férteis;
- Diminuição da renda e do consumo das famílias;
- Encolhimento das terras cultiváveis;
- Maior suscetibilidade à ocorrência de esquistossomose na Bahia;
- Vulnerabilidade a doenças e mais gastos na saúde;
- Migração em alta a partir de 2035 das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos do Nordeste e de outras regiões.

Ao avaliar as temperaturas no Estado da Bahia para os cenários A2 e B2 do IPCC entre 2070 e 2100 utilizando modelo regional HadRM3P, Genz *et al.* (2011) observaram o maior aumento no noroeste e norte (cerca de 5° C para o

A2 e 4^o C para o B2) do Estado, enquanto no litoral os aumentos ficaram entre 2 e 3,5^o C para o A2 e entre 1,5 e 2,5^o C para o B2.

3.2 Impactos das Mudanças Climáticas nas Águas

Em relação aos recursos hídricos, uma das variáveis mais importantes são os cenários futuros de precipitação e, por conseguinte, de vazões dos rios. Entretanto, as alterações climáticas modificam não somente as vazões, mas também os condicionantes naturais que dão sustentabilidade ao meio natural como a fauna e flora (TUCCI, 2002).

A avaliação da redução das vazões dos rios em cenários de mudanças climáticas é realizada por meio do acoplamento de modelos atmosféricos com os modelos hidrológicos, existindo duas metodologias para isto: *on-line*, na qual há interação simultânea dos processos atmosfera-superfície, verticalmente e horizontalmente, e *off - line*, no qual o modelo atmosférico fornece dados para serem utilizados como entrada no modelo hidrológico (SILVA, 2005).

Silva (2005) e Silva *et al.* (2007) citam as principais limitações dos modelos globais, em relação às aplicações em recursos hídricos: a) a discretização retrata somente os processos atmosféricos de macroescala na superfície da terra; b) muitos processos são representados com fortes limitações no modelo, tais como os processos hidrológicos, por exemplo, que variam na microescala; c) o custo e o tempo de processamento para uma discretização mais detalhada destes modelos são extremamente elevados; e d) diferenças entre as escalas de tempo e espaço dos modelos atmosféricos e hidrológicos.

Em geral, os profissionais que planejam os sistemas de recursos hídricos ignoram mudanças significativas na hidrologia dentro do horizonte de planejamento típico de 20-30 anos. Também, a integração das alterações climáticas no processo de decisão dos recursos hídricos é dificultada pela falta de quadros analíticos adequados para avaliar com rigor os impactos de uma série de cenários climáticos futuros (PURKEY *et al.*, 2007), bem como pela falta de acesso a todas as simulações do clima futuro do IPCC (2007) e, portanto, pela incapacidade de análise da faixa de incerteza representada em simulações climáticas (VONO *et al.*, 2010). Fisher e Rubio (1997) *apud* O'hara

& Georgakakos (2008) ressaltam que o aumento da incerteza nas projeções leva, a longo prazo, a um maior nível de armazenamento dos reservatórios e, portanto, a maiores custos.

Whitehead *et al.* (2009) destacam como conseqüências da redução das vazões e das velocidades dos rios, o aumento do tempo de residência da água e, portanto, o aumento do potencial de proliferação de algas tóxicas, redução dos níveis de oxigênio dissolvido e o aumento da taxa de sedimentação, diminuindo assim a concentração de sedimentos na coluna de água, o que, por sua vez, aumenta a penetração de luz e, assim, favorece o crescimento das algas.

Segundo o IPCC (2008) temperaturas elevadas, combinadas com altas concentrações de fósforo em lagos e reservatórios causam a proliferação de algas que por sua vez prejudica a qualidade da água (cor, odor e sabor, toxicidade, transferência de poluentes voláteis e semivoláteis).

Vale ressaltar que concentrações elevadas de algas causam impactos significativos nos sistemas convencionais de tratamento de água (coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção). Isto porque estes organismos podem flotar nos decantadores, serem carregados para os filtros, obstruindo-os em poucas horas, causando odores na água tratada e sérios perigos a população abastecida quando estas liberam tóxicos perigosos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Segundo o IPCC (2008) as pequenas ilhas, as regiões áridas e semi-áridas dos países em desenvolvimento, as regiões cujas águas doces são fornecidas pelos rios alimentados pela neve, os países com uma elevada proporção de planícies costeiras e megacidades costeiras, particularmente na região da Ásia-Pacífico, serão os locais cujo abastecimento de água doce estará mais vulnerável.

Avaliações dos impactos das mudanças do clima na disponibilidade hídrica dos rios Cle Elum River, em Washington, e Chattahoochee-Apalachicola, na Geórgia e Flórida foram realizadas por Gibson *et al.* (2005). Estes autores observaram alterações das vazões mínimas e máximas e verificaram que as mudanças no regime de fluxo são críticos para a sobrevivência dos peixes e outros organismos. Especificamente, no caso do rio Apalachicola as mudanças

climáticas poderão resultar na desconexão da planície de inundação do canal, que reduziria drasticamente a disponibilidade de habitat para a desova dos peixes.

Barnett *et al.* (2004) realizaram simulações para avaliar os impactos das mudanças climáticas na bacia do rio Colorado e observaram que mesmo em meados do século XXI o sistema de reservatório do rio Colorado não será capaz de atender a todas as demandas, incluindo o fornecimento de água para o sul da Califórnia, interior do sudoeste e a geração hidrelétrica (redução em até 40%). Para a região do Vale Central da Califórnia preveem a impossibilidade de cumprir os atuais níveis de desempenho do sistema de água.

Outros autores (O'HARA & GEORGAKAKOS, 2008; RUTH *et al.*, 2007 e KIRSHEN, 2008) avaliaram os impactos das modificações hidroclimáticas em sistemas de abastecimento de água. Os primeiros analisaram tais impactos no sistema de abastecimento de água no semi-árido do sul da Califórnia para o período de 2006-2030 utilizando os modelos CGCM2, HadCM3 e ECHAM4 com o cenário padrão de emissão de gases de efeito estufa de 1% de crescimento anual destes gases durante o futuro período de simulação. Para isto fizeram simulações com intuito de analisar a capacidade dos reservatórios em atender a demanda futura de água urbana sob cenários de mudanças climáticas e avaliaram os custos e benefícios econômicos da expansão de instalações de armazenamento de água existentes para se adaptarem às alterações climáticas futuras. O'hara & Georgakakos (2008) observaram custos elevados – na ordem das centenas de milhões de dólares – para adaptações às alterações climáticas e o crescimento da população, mesmo em um horizonte de tempo curto.

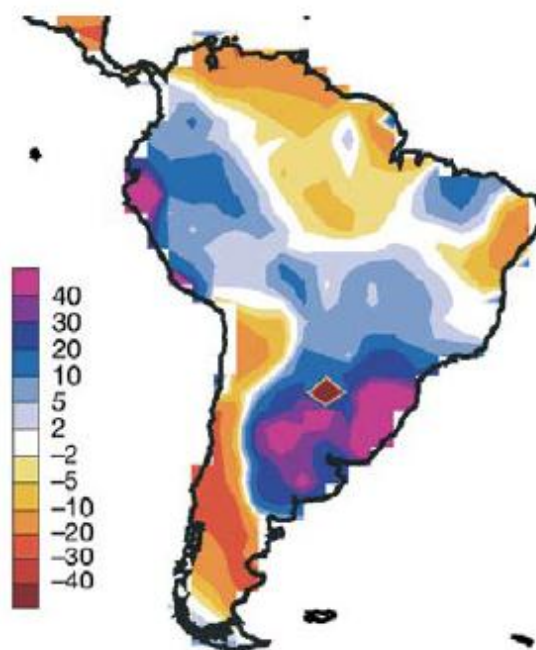
Por outro lado, Ruth *et al.* (2007) avaliaram os impactos das mudanças climáticas e das projeções da população de Hamilton na Nova Zelândia. Realizaram simulações de 15 cenários, sendo estes compostos pela combinação de cinco quadros climáticos e três de população. Os autores observaram que as mudanças na demanda de água são em grande parte impulsionadas por mudanças na população, não sendo significativamente afetado por mudanças no clima. Orientaram aos decisores para focar sobre a

demografia no planejamento de atualizações do sistema de água. Contudo, a falta de sensibilidade da demanda de água para a mudança climática não implicou na inexistência de impactos do clima, pois a escassez de água para o abastecimento em 2030 apresentou uma probabilidade de 30-40% de ocorrência.

As frequências de atendimento a três sistemas de abastecimento de água (Seattle, Tacoma e Everett) da região de Puget Sound, Washington, EUA, foram analisadas por Vono *et al.* (2010). Estas foram realizadas aumentando e diminuindo as demandas por 10%, 25% e 50% em relação aos valores de demanda do ano 2000 e simulando vazão para a década de 2020, 2040 e 2080 para os cenários de mudanças climáticas A1B e B1. Assim, para todos os cenários analisados observaram falhas no atendimento as demandas do sistema de Tacoma. No sistema de Seattle, quando a demanda aumentou em 10%, a confiabilidade para o 2080 caiu em 5% e 1% para os cenários de emissões cenário A1B e B1, respectivamente.

Ao avaliarem a demanda hídrica mundial (consumo humano, industrial e agricultura), Vörösmarty *et al.* (2000) observaram que as mudanças iminentes em escala global da população e o desenvolvimento econômico irão ditar a relação futura entre a disponibilidade e a procura de água em um grau muito maior do que vai significar as mudanças climáticas.

No caso do Brasil, os cenários brasileiros previstos por Milly *et al.* (2005) relativos à média de 12 modelos do IPCC para o período entre 2041-2060 em relação ao clima de 1900-1970 para o cenário A1B mostram, em geral, aumento nas vazões dos rios das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e reduções naquelas vazões das regiões Norte e Nordeste do Brasil (Figura 2).



Fonte: Milly *et al.* (2005)

Figura 2: Diferença entre a média aritmética das vazões dos 12 modelos do IPCC aplicados para o período 2041-2060 em relação à normal climatológica em percentual do período de 1900-1970 para o cenário A1B

Salati *et al.* (2007) elaboraram balanços hídricos para as regiões da Amazônia, da bacia do rio Paraguai, da Nordeste Brasileiro e bacia do Prata nos quais foram utilizados cinco modelos global de clima (HadCM3, CSIRO-Mk2, CCCMA, GFDL-CM2 e CCSR/NIES) para cenários A2 e B2 para os períodos de 2011 a 2040 (centrado em 2025), 2041 a 2070 (centrado em 2050) e 2071 a 2100 (centrado em 2075). Quanto às conclusões para o Nordeste Brasileiro, estes autores, mencionaram que os resultados precisam ser analisados com muito cuidado, pois os dados utilizados incluíram uma área superior ao Nordeste semi-árido atual. Para tais autores, “excesso” representa a água que sofre percolação profunda ou escoamento superficial no mês considerado (mm.mês^{-1}). Os resultados das previsões para a segunda metade do século XXI deste estudo estão apresentados no Quadro 5, sendo estes comparados com os dados do balanço hídrico do período de 1961 a 1990.

Ao avaliar precipitações no Estado da Bahia para os cenários A2 e B2 do IPCC entre 2070 e 2100 utilizando modelo regional HadRM3P, Genz *et al.* (2011) observaram maior redução anual no litoral (cerca de 70%) tanto para o A2

como para o B2, enquanto no semi-árido reduções entre 20 e 60% no cenário A2 e entre 20 e 50% no cenário B2.

Quadro 5: Previsões climáticas para as regiões do Brasil – Cenário A2 IPCC – para a segunda metade do século XXI

Regiões	Modelo HadCM3	Médias dos valores dos cinco modelos
Amazônica	Para ambos os cenários (A2 e B2) uma diminuição do excesso de água de até 73,4%.	Para ambos os cenários (A2 e B2) uma redução do excesso de água na região de até 33 %.
Bacia do Rio Paraguai	Para ambos os cenários (A2 e B2) uma diminuição do excesso de água na Bacia do Rio Paraguai no período de até 42 %.	Para ambos os cenários (A2 e B2) uma diminuição do excesso de água na região de até 49 %.
Nordeste Brasileiro	Para ambos os cenários (A2 e B2) não haverá excesso de água na região	Para ambos os cenários (A2 e B2) uma diminuição do excesso de água na região de até 100 %
Bacia do Prata	Para ambos os cenários (A2 e B2) não haverá excesso de água na região.	Para ambos os cenários (A2 e B2) uma diminuição do excesso de água na região para o período de 2011 a 2040 de até 70 % e nenhum excesso de água para o período de 2041 a 2100.

Fonte: Salati *et al.* (2007)

Por outro lado, Genz *et al.* (2010) avaliaram os impactos nas precipitações médias (MAP) e nas vazões do rio Pojuca sob o cenário A2 do IPCC para o período de 2070 a 2100. Este rio localiza-se na Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) número XI – Recôncavo Norte. Para isto, foram utilizados os dados do modelo regional de clima HadRM3P e simulado o modelo hidrológico MGB-IPH, sendo observadas alterações projetadas para as vazões no cenário A2 de 73% superiores àquelas encontradas para a precipitação (79%). Estes autores sinalizam ainda, devido à semelhança entre os regimes hidrológicos, reduções severas também nas vazões de outros rios desta RPGA (rios Jacuípe e Joanes).

Na bacia do rio Paraguaçu foi avaliado os impactos nas precipitações médias (MAP) e nas vazões do rio Paraguaçu para os cenários A2 e B2 para o período de 2070 a 2100 (GENZ *et al.*, 2011) utilizados os dados do modelo regional de clima HadRM3P e simulado o modelo hidrológico MGB-IPH. Estes autores observaram que para o cenário A2 reduções das vazões média, máximas e mínimas de 73, 84 e 71%, respectivamente.

Anteriormente, Medeiros (2003) realizou simulações no rio Paraguaçu baseando-se nos resultados de dois modelos climáticos (UKHI do Serviço

Meteorológico da Inglaterra e do CCCII do Centro de Clima Canadense para condições na atmosfera relativa à $1xCO_2$ e $2xCO_2$. Foram avaliadas para estes dois cenários de emissões as respostas da bacia em relação ao escoamento superficial e a evapotranspiração. Assim, nas simulações do cenário UKHI não foram identificadas alterações no total anual do escoamento superficial e naquelas utilizadas o modelo CCCII foi observada uma grande redução nesse total de aproximadamente 40%. Em relação à evapotranspiração, no cenário UKHI houve um decréscimo superior a 60%, na primavera, enquanto o cenário CCCII mostrou uma redução variando, em geral, de 3 a 18%.

As diferenças obtidas em relação a evapotranspiração entre os estudos de Medeiros (2003) e Salati *et al.* (2007) decorre da resolução do modelo de clima utilizado, os segundos autores utilizaram uma escala mais detalhada quanto comparada aquele utilizado pela primeira autora.

Embora haja um reconhecimento de que as alterações climáticas poderão interferir no consumo de água (RUTH, 2007), nos processos de desestabilização de margens de rios e descarga de sedimentos (BOYER *et al.*, 2010), na qualidade das águas (MOORE *et al.*, 2008; ARNELL, 1998; WHITEHEAD *et al.*, 2009; BONTE & ZWOLSMAN, 2010), nos processos de migração (Barbieri, 200-), e nas modificações das características do uso e ocupação do solo e vegetação, nenhum destes elementos foram considerados no presente estudo.

Mesmo diante dessas previsões de alterações nas vazões dos rios brasileiros, até o presente momento não foram identificados estudos dos impactos destas alterações nos sistemas de abastecimento de água no Brasil, embora tenham sido identificados estudos de impactos na capacidade de produção de energia hidroelétrica advinda das mudanças climáticas (SCHAEFFER *et al.*, 2008 e TIEZZI, 2009).

Os impactos do clima exigirão modificações no gerenciamento das águas no futuro, sendo imprescindível sua inserção para avaliação de sistemas de recursos hídricos (WILEY & PALMER, 2008). Ao inserir as alterações hidroclimáticas no gerenciamento dos recursos hídricos busca-se encontrar mais efetivamente o equilíbrio entre disponibilidade hídrica e a demanda, que

por sua vez facilitará a avaliação do dos gestores da água sob diferentes condições climáticas (IPCC, 1995).

Para MEANS III *et al.* (2010) as mudanças climáticas precisam ser inseridas nas tomadas de decisões dos prestadores dos serviços públicos de água, por apresentar potenciais impactos financeiros, sociais e ambientais.

Portanto, torna-se importante avaliar a disponibilidade hídrica para atendimento da demanda dos sistemas de abastecimento em cenários de mudanças climáticas de modo a permitir que decisões sejam tomadas com relação a medidas preventivas e/ou adaptativas no sentido de evitar racionamento, conflitos ou até mesmo falhas severas ao abastecimento humano e outros usos das águas.

4 GESTÃO DAS ÁGUAS

O aumento populacional, a precariedade dos serviços de saneamento básico, o crescimento desordenado das cidades e o aumento da intensidade e variedade dos usos da água são elementos que promovem o desequilíbrio entre oferta e demanda por água e, portanto, acentuam conflitos entre usuários.

A escassez de água no Brasil ocorre por diversas causas: enquanto no Sudeste do país há restrições quali-quantitativas devido à alta densidade demográfica e ampliação das demandas industrial e agrícola, o Nordeste enfrenta outra realidade: menor disponibilidade hídrica; carência dos serviços de saneamento básico; e ainda o processo de salinização de muitos corpos d'água. Adicionam-se a estas realidades, conforme discutido no capítulo anterior, os possíveis impactos decorrentes das mudanças climáticas.

De acordo com Agência Nacional das Águas (Resolução nº. 707/2004 – incisos, II e III, parágrafo 3º, art.8º), o conflito pelo uso da água pode ser de natureza quantitativa e qualitativa, sendo o primeiro caracterizado pela relação entre demandas e a disponibilidade hídrica de uso e o segundo pela relação entre vazões necessárias à diluição de poluentes ou cargas de poluentes e a disponibilidade hídrica.

Gleick (2011) localizou e caracterizou eventos relacionados a conflitos internacionais pela água, ao redor do mundo (maiores informações em <http://www.worldwater.org/conflict.html>). Neste foram encontrados dois conflitos brasileiros: o primeiro em 1962 com o Paraguai e o segundo em 1970 destes dois países com a Argentina, todas estas disputas pelas águas do rio Paraná. De acordo com Lanna (1997), os conflitos por água podem ser:

- De destinação de uso: ocorrem quando a água é utilizada para atender a outro tipo de uso que não seja os estabelecidos em projeto;
- De disponibilidade qualitativa: quando existe degradação da qualidade da água devido ao lançamento de poluentes tornando a água inadequada para determinados usos;

- De disponibilidade quantitativa: ocorre devido ao uso intensivo da água ocasionando, em alguns casos, a escassez dos recursos hídricos.

A literatura demonstra que uma ação imprescindível para atenuar conflitos e colocar em prática o conceito de sustentabilidade hídrica.

4.1 Sustentabilidade Hídrica

Em geral, a gestão das águas do século XX foi baseada na ampliação da oferta, ou seja, na construção de grandes barragens para atender as demandas humanas que muito embora seja importante na redução de incidência de doenças, na ampliação de energia hidrelétrica e da agricultura irrigada e no controle das cheias, trouxe prejuízos sociais, econômicos e ecológicos (GLEICK, 2003).

Nesse sentido, nas últimas décadas vem sendo discutida a inclusão dos princípios de sustentabilidade na gestão das águas. Para Meadowcroft (1997) *apud* Cashman (2006) a sustentabilidade está associada com o bem-estar humano das presentes e futuras gerações, com as necessidades básicas, com a preservação dos recursos ambientais e com os sistemas globais de apoio à vida, integrando a economia e o meio ambiente na tomada de decisões, e participação popular nos processos de desenvolvimento. Gleick *et al.* (1995) definem o uso sustentável da água como:

“Aquele que suporta a capacidade humana para resistir e prosperar num futuro incerto, de modo a não comprometer a integridade do ciclo hidrológico ou mesmo dos sistemas ecológicos que dependem dele”.

Pahl-Wostl (2007) menciona que a gestão sustentável da água busca evitar consequências irreversíveis e mudanças catastróficas, sendo para isto necessário manter a capacidade adaptativa do sistema de água de forma a garantir a integridade funcional das condições de contorno externas e internas em longo prazo.

Para Sahely *et al.* (2005) aumentar a sustentabilidade de um sistema consiste na expansão da capacidade de equilibrar os diferentes objetivos das presentes e futuras gerações. Entretanto, Loucks *et al.* (2000) menciona que não é

possível saber o que as gerações futuras vão querer. Assim, a gestão sustentável deve ser integrada e adaptativa. Pahl-Wostl (2007) menciona que à gestão integrada é necessária uma análise inter-setorial de modo a identificar os problemas, integrar a implementação de políticas e respostas adaptativas a novas idéias e, à gestão adaptativa, incluir a relação entre a estrutura (sistema de gestão da água) - processo (gestão adaptativa da água) – resultado (sustentabilidade do sistema de água).

Para Mysiak *et al.* (2010) a gestão adaptativa das águas acrescenta explicitamente a incerteza, tendo como princípio a compreensão incompleta dos sistemas. Assim, tem como hipóteses uma gama de possíveis respostas ao sistema, desde processos ambientais e comportamento humano a eventuais alterações climáticas. Para estes autores a gestão adaptativa da água é uma extensão do conceito da gestão integrada e citam dois elementos essenciais: envolvimento de vários atores diferentes e o processo de aprendizagem social. O primeiro é fundamental para que os diversos usuários entrem num consenso, enquanto o segundo refere-se ao arranjo de mudanças por meio de um processo de aprendizagem iterativo e contínuo nos quais novos elementos são inseridos e analisados (GLEICK, 2003; PAHL-WOSTL, 2007).

Brandes *et al.* (2009) fazem uma abordagem a respeito da sustentabilidade da gestão das águas por meio de caminhos suaves, ou seja, o caminho a seguir pautado na utilização de menos água para satisfazer as mesmas necessidades, devendo para isto inserir medidas de conservação e da eficiência do uso.

Esse conceito procura melhorar a eficiência do uso da água disponibilizando-a conforme as necessidades quali-quantitativas de cada usuário e, incluir medidas de conservação, até mesmo mudanças nos hábitos de uso da água. Brooks & Holtzb (2009) mencionam que caminho suave engloba tecnologias e políticas de modo a reduzir a demanda, em vez de aumentar a oferta. Para Faria *et al.* (2010) o conceito de caminho suave atinge um nível potencialmente sustentável do uso da água, pois prioriza primeiro assegurar o atendimento das necessidades do ecossistema e depois reduzir os usos humanos, por meio de alterações de hábitos, tecnologias e práticas.

Brandes *et al.* (2009) mencionam que a gestão da demanda deve ser a opção prioritária, pois esta proporciona menores custos, retorno rápido e menor impacto ambiental. Para Faria *et al.* (2010) o conceito da gestão da demanda de água aproxima-se do de Tecnologias Limpas uma vez que ambos têm como prioridade a prática de conservação e reuso, nas quais estão inclusas a otimização e a racionalização do uso, por meio da redução do consumo e da geração de efluentes e do aproveitamento das águas já utilizadas. Medidas como, por exemplo, rapidez e agilidade em reparo de vazamentos constituem, na maioria dos casos, em boas práticas operacionais: substituição/adequação de equipamentos, mudança de procedimentos e mudança de condições operacionais. Contudo Brooks & Holtzb (2009) fazem uma importante ressalva à gestão da demanda:

“A gestão da demanda exige mudanças mais profundas nos estilos de vida e subsistência, entretanto devem ser aplicados com grande cautela nas partes do mundo onde a equidade no acesso à água e tomada de decisão democrática não pode ser assegurada”

Brooks & Holtzb (2009) mencionam que enquanto a gestão da demanda faz a pergunta com “como” (exemplo: "Como podemos obter mais de cada gota de água?), a gestão baseada em caminho suave faz a pergunta usando "Porquê" (exemplo: “Porquê devemos usar água para fazer isso?). Assim, a gestão em caminho suave questiona a demanda, analisando qual a quantidade e a qualidade de água requerida para suprimento de determinado uso.

Rosegrant (1997) *apud* Brooks (1997) cita algumas ferramentas e técnicas utilizadas para promover a gestão da demanda e as classificam por meio de quatro categorias: leis, medidas baseadas no mercado, medidas não baseadas no mercado (pressão social, serviços de informação e consulta) e intervenções diretas, tais como consertar vazamentos, ajustar pressão, reuso de esgoto.

Gleick (2010) define quatro estratégias-chave de um roteiro sustentável dos recursos hídricos: a) repensar os pressupostos e definições sobre o abastecimento de água; b) reduzir a demanda de água através de programas de conservação e eficiência; c) desenvolver melhores sistemas de gestão da água; d) integrar as alterações climáticas em todas as decisões do sistema de água. Esse mesmo autor menciona ferramentas necessárias para fazer essas

mudanças, incluindo nestas novas tecnologias, as abordagens econômicas, os requisitos regulamentares e educação.

A gestão da demanda pode ainda ser traduzida em medidas estruturais e não estruturais. No caso dos sistemas públicos de abastecimento de água, as medidas estruturais consistem no uso de alternativas tecnológicas de modo a promover a redução do consumo de água e melhoria do controle e operação, por exemplo, das redes de distribuição de água. As medidas não estruturais traduzem-se em incentivos econômicos, leis, regulamentos e educação ambiental de modo a mudar o comportamento dos usuários das águas (VIEIRA & RIBEIRO 2005; HAMBIRAA *et al.*, 2011).

4.2 Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil

O Brasil instituiu em janeiro de 1997 a Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei n.º 9.433. Nesta foram inseridos os princípios da sustentabilidade da gestão das águas, sendo, portanto considerada um instrumento legal moderno e avançado, no que tange aos objetivos – a preocupação com as gerações futuras, a utilização racional e integrada – e aos fundamentos – descentralização das decisões e da participação da sociedade.

Esta lei apresenta outros fundamentos: água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e os usos prioritários, em situações de escassez, são o consumo humano e a dessedentação de animais.

Essa legislação reconhece a água como bem de domínio público devendo sua gestão proporcionar e harmonizar usos múltiplos e define a bacia hidrográfica como a unidade territorial para o planejamento.

Para efetivação dos objetivos da Lei 9.433/97 foram definidos como instrumentos: os planos de recursos hídricos, o enquadramento, a outorga, a cobrança e o sistema de informação sobre recursos hídricos.

A Resolução nº. 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece as modalidades, as diretrizes e os critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Esta resolução reafirma o compromisso da gestão dos recursos hídricos com a gestão da demanda, pois o reuso é

compreendido como uma prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, sendo assim possível ser utilizado como um instrumento de busca do equilíbrio entre disponibilidade e a demanda, na redução dos custos associados à poluição e proteção do meio ambiente e da saúde pública, na redução de descarga de poluentes e conseqüentemente na redução de custos associados a tratamento de águas para abastecimento.

O Estado da Bahia antecipou a promulgação da Lei Nacional dos Recursos Hídricos e aprovou a Lei nº. 6.855 em 1995. Em 2009, este Estado aprovou a nova Política e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Lei nº. 11.612). Nesta fortalece a gestão participativa e além daqueles princípios estabelecidos pela legislação nacional, acrescenta o direito de todos ao acesso à água, bem de uso comum do povo, recurso natural indispensável à vida, à promoção social e ao desenvolvimento.

Embora as legislações - nacional e estadual (Bahia) - definam como diretrizes a gestão integrada dos recursos hídricos com as políticas públicas que tenham inter-relação com a gestão das águas e, no caso da estadual, explicitamente com as mudanças climáticas, bem como a indissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, ambas não asseguram o atendimento das necessidades do ecossistema conforme conceito apresentado pela abordagem de caminhos suaves.

4.3 Análise de Sistemas de Recursos Hídricos

O gerenciamento de recursos hídricos no Brasil visa, entre outros, harmonizar e solucionar conflitos (RAVANELLO, 2007). Os reservatórios fluviais são estruturas importantes para o aproveitamento de recursos hídricos, pois permitem a redistribuição espacial e temporal da água, em quantidade e qualidade (ANDRADE, 2006a). Contudo, o crescente aumento das demandas (energia elétrica, saneamento, industrial e agronegócio) promove o surgimento de conflitos que envolvem aspectos ambientais e operacionais, independentemente da finalidade principal do reservatório.

Os reservatórios são sistemas aquáticos modificados, complexos e dinâmicos com finalidade de assegurar o equilíbrio espaço-temporal entre as variações da

demanda dos usuários e a disponibilidade hídrica, assim como manter as funções ambientais nos cursos de água. Por outro lado, estas estruturas estão sujeitas as diversas restrições, que normalmente incluem a capacidade máxima e mínima, descarga máxima e mínima e as obrigações contratuais, legais e institucionais em função das diversas finalidades do sistema (YEH, 1985).

Outra restrição que vem sendo discutida recentemente na operação dos reservatórios refere-se à necessidade de atendimento as vazões ecológicas. Esta busca garantir a sustentabilidade ecológica em vários graus de proteção ao ambiente aquático (BENETTI *et al.*, 2003), o equilíbrio hidro-ecológico local (REIS, 2009), ou seja, a saúde do ambiente aquático-terrestre devendo ser, portanto, estas vazões, variáveis no tempo a fim de preservar as características peculiares de cada época do ano (COLLISCHONN *et al.*, 2005).

Devido às prováveis modificações ecológicas, tais como na composição da fauna e da flora, nas regiões afetadas pelas mudanças climáticas é de se esperar alterações das vazões ecológicas dos sistemas fluviais.

GIBSON *et al.* (2005) constataram que as mudanças no regime de escoamento resultantes da construção de barragens são bruscas quando comparadas àquelas resultantes das mudanças climáticas, as quais eles classificaram como graduais.

Com relação ao planejamento quantitativo dos recursos hídricos duas variáveis são essenciais: disponibilidade e demanda. Para esta avaliação são utilizados modelos computacionais de alocação de água, que objetivam verificar a quantidade de água disponível em longo prazo e identificar a garantia associada desta disponibilidade e, assim, antecipar-se aos conflitos de forma a minimizá-los ou mesmo evitá-los.

Estes modelos matemáticos são usados em sistemas de apoio a decisões (SAD), instrumentos utilizados como ferramentas para identificação de possíveis conflitos, uma vez que por meio destes é possível quantificar as demandas por água e verificar a sustentabilidade de sistemas de recursos hídricos por meio de indicadores, tais como: confiabilidade, elasticidade ou resiliência e vulnerabilidade. Hashimoto *et al.* (1982), descreve tais indicadores como sendo:

- Confiabilidade – frequência em que o sistema apresenta falha;
- Elasticidade ou resiliência – indicador de velocidade de recuperação de uma condição satisfatória;
- Vulnerabilidade – medida estatística da extensão ou a duração da falha; e,
- Sustentabilidade – combinação ponderada dos demais indicadores, onde a sustentabilidade relativa é reforçada por um aumento da confiabilidade e resistência, e uma diminuição da vulnerabilidade. Este indicador, foi proposto posteriormente por Loucks (1997).

Esses indicadores foram utilizados para avaliação de sistemas de recursos hídricos no Brasil por Faria (2003), Andrade (2006a), Vianna JR. & Lanna (2002).

Quanto aos critérios de sustentabilidade dos recursos hídricos, Sahely *et al.* (2005) classificam em: ambientais, econômicos, de desempenho e sociais, incluindo a acessibilidade, aceitabilidade, saúde e segurança. Faria (2003) acrescenta a esta lista os critérios políticos.

Simonovic (2001) desenvolveu quatro critérios para a tomada de decisão em termos de recursos hídricos: equidade, reversibilidade, risco e consenso. A equidade é uma medida da distribuição dos impactos associados no tempo e no espaço, sendo uma combinação de justiça, igualdade e objetivos. A reversibilidade considera o grau em que os impactos podem ser mitigados, enquanto o risco é uma medida da magnitude dos impactos negativos associados à probabilidade de que esses impactos ocorrerão. O consenso está associado ao acordo de opiniões dos atores envolvidos.

Caso os cenários climáticos projetados para o nordeste brasileiro prevaleçam espera-se uma aumento na frequência de falhas no atendimento as demandas de água, uma redução da capacidade de recuperação de atendimento e uma maior duração da falha o que, conseqüentemente exigirá, medidas adaptativas, entre estas, de redução de consumo.

Para Schardong (2006) a missão essencial dos SAD é transformar dados em informações de boa qualidade de modo a facilitar a comunicação entre usuário

e o computador a fim de induzir as melhores decisões em sistemas complexos como, por exemplo, o gerenciamento dos recursos hídricos. Para Viegas Filho (2000) os SAD devem ser organizados em: dados, modelos e interface, sendo o primeiro a matéria prima de alimentação, o segundo a modelagem capaz de simular o comportamento de sistemas reais e o último é o instrumento que possibilita o dialogo entre usuário e o modelo, permitindo assim examinar os resultados por meio de verificações do quanto os resultados satisfazem ou não os objetivos pré-definidos.

Tucci (1987) cita que para tomar uma decisão com bases científicas faz-se necessário dois elementos essenciais: informações e concepção intelectual (modelo).

“O modelo é uma representação simplificada do sistema real que se deseja analisar, sendo sistema compreendido como qualquer estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado tempo de referência relaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação. Entretanto, visto que nenhum processo pode ser completamente observado, alguma expressão matemática que o represente sempre envolverá alguns elementos de incerteza, que devem ser devidamente avaliados”.

(ANDRADE, 2006a; pag 17)

As técnicas computacionais para análise de sistema de recursos hídricos que auxiliaram no processo de tomada de decisão podem ser divididas em dois grupos: as técnicas de otimização e simulação. A operação de sistemas de reservatórios consiste em uma das principais áreas de aplicação desses modelos (LIMA, 2000).

A otimização é utilizada quando existe o interesse em encontrar a alternativa que melhor atenda a um objetivo predeterminado, ou seja, busca a solução ótima (ROBERTO, 2002), maximizando ou minimizando uma função-objetivo que representa matematicamente os objetivos de um sistema ordenando-os em relação a sua atratividade (FARIA, 2003).

Segundo LABADIE (1998) *apud* ROBERTO (2002) o maior desafio dos modelos de otimização em relação aos de simulação é a necessidade dos modelos de otimização possuir algum tipo de modelo de simulação dentro da otimização de modo a manter a viabilidade das políticas operacionais.

Por outro lado, a simulação é utilizada para aproximar o comportamento de um sistema no computador, representando da melhor maneira possível as características desse sistema através do emprego de descrições algébricas ou matemáticas (YEH, 1985).

“Os modelos de simulação servem como técnica preliminar para delimitar espaços e soluções possíveis, espaços esses que serão pesquisados de maneira mais precisa pelos modelos de otimização para localizar o ponto de solução ótima. O modelo de otimização é utilizado, em sistemas com simplificações, na determinação de regras operacionais, regras essas que serão em seguida processadas nos modelos de simulação em sistemas sem simplificações, verificando sua viabilidade prática e grau do afastamento ótimo”.

(LIMA, 2006; pag 27)

Há ainda modelos de rede de fluxo que combinam técnicas de otimização e simulação. Tais modelos podem ser empregados para representar um sistema de recursos hídricos utilizando uma rede formada por “nós” e “arcos”. Os nós são os pontos para onde convergem ou saem os fluxos, enquanto os arcos são as ligações entre os nós (Figura 3). Nos modelos de rede de fluxo cada arco está associado a um custo de transporte do fluxo.

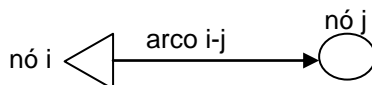


Figura 3: Representação de uma rede de fluxo com arcos e nós

A função objetivo da rede de fluxo é minimizar o custo do transporte do fluxo pelos arcos (eq. 1), sujeitos à manutenção das condições de rede capacitada e conservativa. Os algoritmos deste modelo admitem dois tipos de restrições: as que determinam a conservação do balanço de massa em cada nó (eq. 2) e os limites em cada arco (eq. 3). Cada arco é unidirecional em relação ao sentido do fluxo e, no caso dos modelos MODSIM e AcquaNet a otimização da operação do sistema se dá mediante o algoritmo “Out-of-Kilter”. O detalhamento deste algoritmo encontra-se em Porto *et al.* (2003), entre outros. No caso, a formulação do problema a ser solucionado é representada pelas equações abaixo.

Minimizar:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} Q_{ij} \quad (1)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum Q_{ij} - \sum Q_{ji} = 0 \quad (2)$$

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \quad (3)$$

Onde,

C_{ij} = custo do transporte de uma unidade de fluxo que passa pelo arco;

Q_{ij} = vazão média que passa pelo arco ij , no intervalo de tempo considerado;

I_{ij} = a capacidade mínima do arco ij ;

S_{ij} = a capacidade máxima do arco ij .

Em um modelo de rede de fluxo, os nós e os arcos devem conter as características da estrutura que o mesmo está representando. Algumas dessas características são:

- Reservatórios: volumes máximos e mínimos, curva cota x área x volume, níveis de armazenamento desejados, série de vazões afluentes, taxa de evaporação;
- Demandas: valor e distribuição temporal da demanda, prioridade de atendimento, retornos;
- Arcos: capacidades máximas e mínimas, custo, perdas por infiltração.

No Brasil, aplicações do modelo de rede de fluxo podem ser referidas, entre outras, às bacias dos rios Itapicuru e Paraguaçu, na Bahia (LISBOA NETO *et al.*, 2005), da bacia do rio Paraguaçu (FARIA, 2003; MEDEIROS *et al.*, 2004), bacia do rio Capibaribe – Pernambuco (ANDRADE, 2006), sistema da bacia do Alto Tietê – São Paulo (SCHARDONG, 2006), bacia do lago Descoberto – Brasília (BALTAR, 2001) e o trecho do baixo São Francisco (AMORIM, 2009).

4.4 Sistemas de Abastecimento de Água e a Gestão da Demanda

Para Nascimento e Heller (2005), a questão das interfaces entre saneamento e recursos hídricos reside na dualidade do saneamento ora como usuário de água ora como instrumento de controle de poluição e, em consequência, de sua preservação. Estes autores afirmam que entre os diversos usuários da água, o de saneamento é provavelmente o que apresenta maior interação e interfaces com o de recursos hídricos.

Deste modo, os recursos hídricos são vulneráveis à gestão do saneamento básico, seja em seus aspectos de quantidade (captação para o consumo) ou em qualidade (lançamento).

Conforme dito anteriormente a Lei das Águas do Brasil (Lei n.º. 9.433/97) baseia-se nos princípios da sustentabilidade e, portanto, os usuários das águas devem realizar a gestão da demanda.

Em geral, a gestão do setor de saneamento brasileiro ainda é fundamentada na gestão da oferta: expansão do atendimento por meio da exploração de mananciais cada vez mais distantes, elevados índices de perdas por vazamentos, pouca preocupação efetiva com o uso da água nos domicílios (desperdícios elevados) e de reuso de esgoto. Contudo, há cada vez menos opções viáveis, principalmente nas regiões metropolitanas, para a expansão da oferta hídrica.

Uma das ferramentas mais importantes para reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, conforme discutido anteriormente, consiste em melhorar a eficiência das utilizações da água existentes (Gleick, 2010), ou seja, operacionalizar a gestão da demanda.

As primeiras pesquisas no Brasil voltadas para a gestão da demanda foram voltadas à adoção de instalações sanitárias prediais de baixo custo (substituição de equipamentos) para projetos habitacionais para população de baixa renda, culminando em uma produção em série de louças sanitária de linha popular (SILVA, 2005). Este autor, entretanto, sinaliza que para existir eficácia dos programas de conservação e uso racional faz-se necessário inibir

o consumo dos usuários do sistema público de abastecimento de água de renda média e alta.

Braga & Ribeiro (2006) propuseram uma metodologia de avaliação de alternativas de gerenciamento da demanda urbana de água para a cidade de Campina Grande – PB, sendo este realizado por meio de entrevista em três grupos: poder público, usuários e sociedade civil. Neste estudo foram identificadas como alternativas mais desejáveis as ações referente ao controle de vazamento na rede de distribuição como de primeira prioridade (máxima) no grupo dos usuários e como de segunda prioridade no grupo formado pela sociedade civil.

A demanda dos sistemas públicos de abastecimento de água é função de três variáveis: perdas, desperdícios e consumo efetivo. Entretanto, devido à ausência de estudos destas variáveis, as projeções das demandas no Brasil são realizadas com base em números consagrados de consumo médio (per capita) presentes na literatura, advindos de países desenvolvidos ou de prestadores de serviço com experiência na área (MATOS, 2007).

Segundo Gleick (1996) as condições climáticas e de higiene, cultura e estilo de vida, dieta alimentar, natureza e tamanho da cidade, disponibilidade de recursos, proximidade da água ao domicílio, forma de acesso, medição do consumo, pressão na rede, tecnologia e renda, dentre outros, são fatores determinantes no consumo de água nas residências. Matos (2007) atribui a complexidade da interferência destes como causa da dificuldade para conhecer a cota per capita e a identificação do padrão de consumo de água no Brasil.

Corral-Verdugo (2003) pesquisou fatores psicológicos e situacionais em duas cidades do México. A pesquisa revelou que a posse de aparelhos e utensílios domésticos que consomem água promove o seu desperdício, apresentando. Este autor também correlação significativa posse destes aparelhos e utensílios domésticos com a renda familiar. Esta pesquisa mostrou que a escassez é uma motivação para conservar água e os indivíduos que vivem nesta condição desenvolvem maiores habilidades de conservação, o que proporciona a redução do consumo de água.

Moraes (1995) avaliando os fatores determinantes no consumo de água em áreas periurbanas de Salvador verificou que o gasto mensal com água, o número de moradores e tipo de ligação foram, entre as variáveis estudadas, aquelas que melhor explicaram o consumo de água desta população. O consumo per capita real estimado variou, entre 33 e 87 L.hab⁻¹.dia⁻¹, com valor médio global de 48 L.hab⁻¹.dia⁻¹.

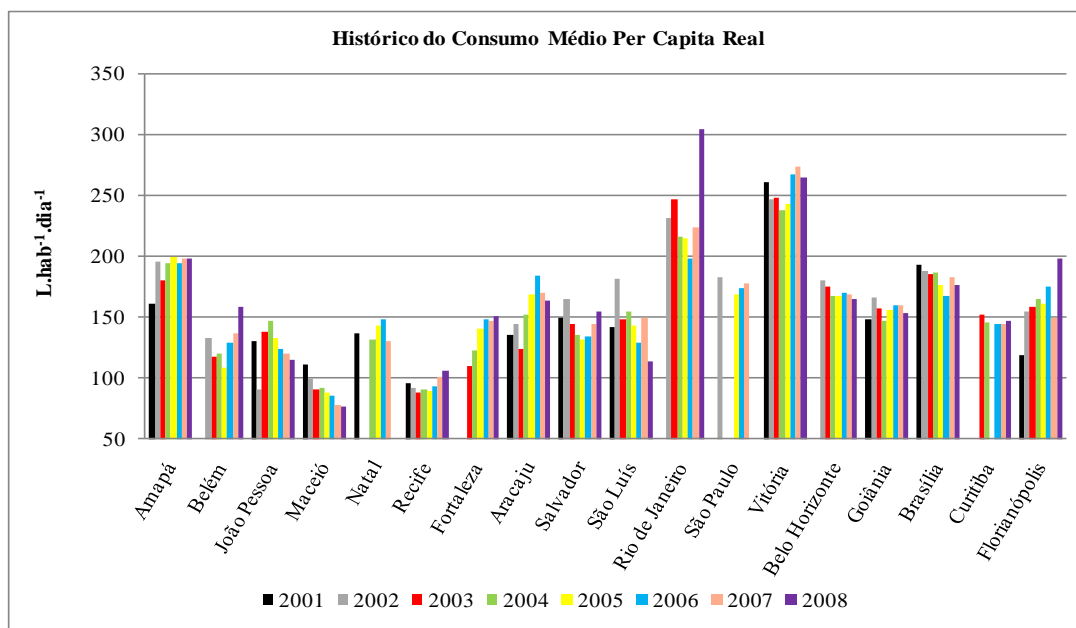
Com intuito de avaliar a opinião de moradores em área de baixa renda de Salvador sobre consumo e uso racional da água, Garcia *et al.* (2010) constataram que fechar torneiras durante o uso, redução da frequência do uso e redução do volume utilizado foram às ações citadas pelos entrevistados para o uso racional das águas, tendo como fatores motivadores a escassez e a economia na conta da água paga à concessionária.

Para Vairavamoorthy & Mansoor (2006), os instrumentos e ações de estímulo ao uso racional da água são distintos a depender do público alvo: para os usuários de alta renda são mais eficazes as ações como reuso intradomiciliar, pois o aumento do preço da água só é efetivo se combinada com extensivas campanhas de conscientização, enquanto para os demais consumidores (média e baixa renda) as ações mais efetivas são o preço da água e conscientização.

Gleick (1996) recomenda o volume de 50 L.hab⁻¹.dia⁻¹ para atendimento às necessidades básicas (necessidades de higiene, bebida e limpeza), contudo o consumo nos domicílios não se limita somente as necessidades básicas, devendo ser contemplado o volume necessário para atender outros desejos dos usuários que não podem ser desconhecidos, como por exemplo, um ocasional banho demorado para proporcionar relaxamento (CHEUNG *et al.*, 2009). Por outro lado, a demanda dos sistemas de abastecimento de água tem outros usuários tais como, comércios e indústrias, que devem ser consideradas.

Na Figura 4 são apresentados o consumo médio per capita real do período de 2001 a 2008 de algumas cidades brasileiras (SNIS, 2010). Dentre as cidades avaliadas Rio de Janeiro e Vitória foram aquelas que apresentam os maiores valores per capita médio de 233 e 253 L.hab⁻¹.dia⁻¹, respectivamente, enquanto

as cidades de Maceió e Recife foram aquelas que apresentaram menores valores, 89 e 94 L.hab⁻¹.dia⁻¹. Estes baixos valores dos consumos de água nestas cidades estão atrelados a crise do sistema de abastecimento de água o que ocasionou sérios racionamentos nestas cidades. Salvador apresentou tal indicador na ordem de 140 L.hab⁻¹.dia⁻¹, similar aos encontrados nas cidades de Curitiba e São Luiz. Considerando a referencia de Gleick (1996), a população de Salvador desperdiça e/ou utiliza para outras necessidades cerca de 90 L.hab⁻¹.dia⁻¹, consumo muito superior ao consumo ao estabelecido para suprimento das necessidades básicas.



Fonte: SNIS (2008)

Figura 4: Histórico do Consumo Médio Anual de Cidades Brasileiras

Seroa da Motta (2002) estudando o padrão de consumo, distribuição de renda e o meio ambiente no Brasil, observou que consumo de água por domicílio tende a aumentar com o nível de renda.

Por outro lado, Neri (2010) analisando os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística constatou que no Brasil no período de 2003 a 2009 o número de pobres reduziu de 20,5 milhões de pessoas e 29 milhões de pessoas ingressaram na nova classe média (Classe C). Dentre os bens de consumo pesquisados, a máquina de lavar roupas, equipamento de significativo consumo de água dos domicílios, foi o que mais cresceu neste período (32,61%). O estudo demonstra que a tendência do Brasil para os próximos anos é de continuação do crescimento da classe média. Assim, nos

próximos anos, caso o consumo de água continue tendo correlação significativa com a renda, espera-se que a demanda per capita real aumente.

Outros fatores importantes para consumo e uso racional da água são os instrumentos legais. Conforme discutido anteriormente, foram inclusos na política de recursos hídricos princípios da sustentabilidade hídrica e da gestão da demanda.

Por outro lado, a Lei Nacional do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07) definiu como diretrizes a instituição de tarifas, preços públicos e taxas para os serviços, entre outras, visando à inibição do consumo supérfluo e do desperdício de recursos e o incentivo à eficiência. Entretanto, Garcia e Kiperstok (2010) observaram que nos domicílios assistidos pelo benefício da tarifa social (consumo inferior a 10m³) praticada pela prestadora dos serviços em Salvador, resultou no uso racional da água, uma vez que há domicílios que pagavam o mesmo valor que aqueles que consumiam volumes superiores a este limite, ou seja, a redução do volume consumido não refletiu no valor financeiro pago.

No Decreto 7.217/10 (art. 6º) da Lei nº 11.445/07 (Lei do Saneamento) – foi instituído que toda edificação permanente urbana deverá ser ligada à rede pública de abastecimento de água disponível em um prazo preferencialmente inferior a noventa dias ou o usuário estará sujeito às sanções, dificultando assim a inserção de fontes alternativas tais como, captação de água de chuva, reuso interno e fontes subterrâneas.

Uma barreira para gestão da demanda mencionada nesse decreto decorre da fronteira da responsabilidade dos prestadores dos serviços de água. Este limite termina nos eventuais instrumentos de medição, ou seja, reforça que o consumo efetivo e os desperdícios nos domicílios não são de responsabilidade dos prestadores dos serviços como se estes consumos não estivessem inclusos nas demandas dos prestadores dos serviços de água. Sanchez (2007) ao avaliar as perdas por vazamento intradomiciliar em edifícios multifamiliares identificou que elas atingiam valores de até 55% do volume total consumido.

A lei de saneamento ao definir que a prestação dos serviços públicos de saneamento básico deve obedecer ao princípio da continuidade, garantindo

assim o fornecimento do abastecimento de água as populações de baixa renda a prazo e critérios que preservem condições mínimas de manutenção da saúde das pessoas atingidas, demandará por estudos para quantificação deste volume mínimo. Caso este seja definido corretamente, pode vir a ser um instrumento importante na gestão da demanda de água, pois poderia ser um limite para diferenciação de preço da tarifa de modo que esta seja crescente com o aumento do consumo.

Recentemente, por meio da Instrução Normativa nº. 02/2011, o Ministério das Cidades estabeleceu como um dos requisitos para liberação de financiamentos para a ampliação do sistema de abastecimento de água, mutuários públicos, o percentual de perdas máximo (o maior entre valores percentuais das perdas na distribuição e faturamento). Neste documento ficou definido que os prestadores de serviços somente receberão recursos para ampliação destes sistemas, se este índice não superar 40%. Caso contrário será necessário incluir no respectivo projeto o componente de controle de perdas ou ter sua execução acompanhada pelo desenvolvimento de programa de redução de perdas.

De acordo com o Ministério das Cidades (SNIS, 2007) 60% das perdas reais e aparentes são recuperáveis e, a economia destas representam cerca de 4,4 bilhões de reais por ano, o que é bastante significativo quando comparado, por exemplo, demanda anual de investimentos em água e esgotos do Brasil para atingir a universalização em 2025 que é de aproximadamente 12,0 bilhões de reais por ano. Portanto, o controle das perdas se torna imprescindível no alcance desta meta e importante ação na redução das pressões dos recursos hídricos.

4.4.1 As Perdas dos Sistemas de Abastecimento

As perdas em sistemas de abastecimento de água, de acordo com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA, 2003), são agrupadas em reais (físicas) e aparentes (não físicas). Entretanto, todo sistema de abastecimento de água apresenta perdas, que podem estar ou não dentro dos limites aceitáveis.

A perda de água, tanto a real quanto a aparente, é um dos principais problemas enfrentados pelos operadores dos serviços de abastecimento de água de todo o mundo (LIEMBERGER, 2002). O Ministério das Cidades caracteriza sistemas de abastecimento adequados àqueles que apresentam perdas inferiores a 20%.

4.4.1.1 *Perdas Físicas*

As perdas físicas correspondem ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final, sendo ocasionadas por vazamentos nas adutoras, redes de distribuição, vazamento e transbordamento de reservatórios e, finalmente, fuga de válvulas e bombas (TABESH *et al.*, 2009).

Thornton *et al.* (2008) afirmam as causas para ocorrência desses vazamentos estão: na baixa qualidade da infra-estrutura, da mão-de-obra e de materiais; na manipulação/estocagem inadequada de materiais; no processo de reaterro de valas inadequado; nas ondas de pressão ou transientes hidráulicos; na variação de pressão no sistema de distribuição, entre outras. Estes autores definiram as seguintes ações para reduzir tais perdas: rapidez e qualidade dos reparos, controle e detecção de vazamento, controle de pressão e de nível de reservatório e melhoria dos materiais e da manutenção, remanejamento e reabilitação das tubulações.

A NBR 12218/94, da ABNT, “Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público”, define 500 kPa de pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras e 100 kPa de pressão dinâmica mínima. Contudo, Gomes *et al.* (2007), defendem que a pressão estática máxima deve ser a menor possível e nunca superior a 500 kPa.

A quantidade de água perdida nos vazamentos é diretamente proporcional às características do orifício e das condições de operação do sistema (pressão), bem como sua duração, esta envolve três variáveis: conhecimento, localização e reparo (LAMBERT, 1998).

A automação do sistema de abastecimento de água é uma das ferramentas que contribui para o controle efetivo das perdas físicas, uma vez que por meio deste é possível monitorar e, portanto, conhecer, controlar e detectar

vazamentos, controlar as pressões nos reservatórios e na rede de modo a diminuir o tempo dos reparos e aumentar a qualidade deste, bem como identificar quais são os pontos vulneráveis do sistema, estabelecer as ações prioritárias e assim realizar as melhorias necessárias.

O controle dos vazamentos é fundamentalmente uma ação inerente ao prestador do serviço. Contudo, é necessário uma boa relação deste com os usuários do serviço de modo que estes possam comunicar àqueles quando da existência de vazamento. Os vazamentos podem ocorrer em todos os subsistemas do abastecimento de água, sendo originados principalmente por vazamentos nas tubulações, nos ramais e nas estruturas, na limpeza do poço de sucção, na lavagem de filtros e descarga de lodo, extravasamentos, entre outros. As mais significativas são aquelas provenientes da rede de distribuição, tendo como causa as instalações e principalmente as pressões (PNCDA - DTA A2, 2003).

As origens e magnitudes das perdas físicas por subsistema podem ser representadas esquematicamente, conforme o Quadro 6.

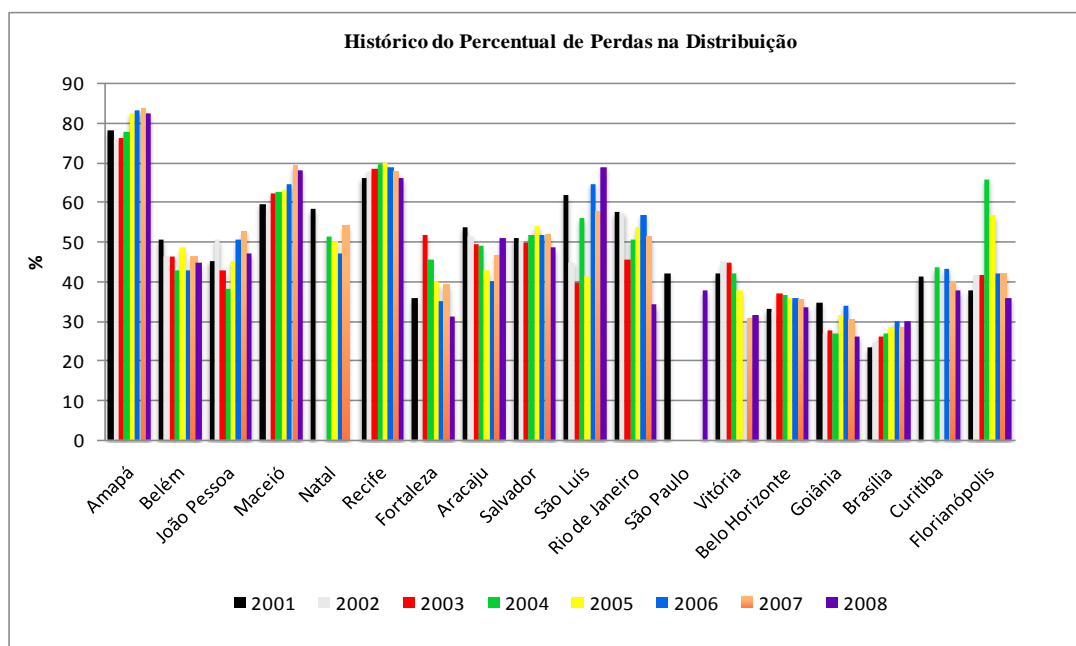
Quadro 6: Perdas físicas por subsistema: origem e magnitude

	Subsistema	Origem	Magnitude
Perdas Físicas	Adução de água bruta	Vazamento nas tubulações; Limpeza do poço de sucção*.	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional.
	Tratamento	Vazamentos estruturais; Lavagem de filtros*; Descarga de lodo*.	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional.
	Reservação	Vazamentos estruturais; Extravasamentos; Limpeza*.	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional.
	Adução de água tratada	Vazamentos nas tubulações; Limpeza do poço de sucção*; Descarga*.	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional.
	Distribuição	Vazamentos na rede; Vazamentos nos ramais; Descargas.	Significativa, função do estado das instalações e principalmente das pressões.

Fonte: PNCDA - DTA A2, 2003.

Nota: * Considera-se perdido apenas o volume excedente ao necessário para operação.

Na Figura 5 são apresentados os percentuais de perdas na distribuição em sistemas de abastecimento de algumas cidades brasileiras. Observa-se maior eficiência nos sistemas das cidades de Brasília, Goiana e Belo Horizonte. Os resultados da cidade de São Paulo não constam no banco de dado utilizado.



Fonte: SNIS, 2008

Figura 5: Histórico das Perdas na Rede de Distribuição de Sistemas de Abastecimento de Água – Capitais Brasileiras

Dentre as ações para reduzir a demanda hídrica dos sistemas de abastecimento o controle dos vazamentos, sejam estes nas redes ou nos domicílios, devem ser prioritária em um programa de conservação e uso racional de água, pois tais ações diminuem os custos de produção (mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros) e utilizam as instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema produtor (PNCDA, 2003), disponibilizando assim água para os demais usos.

4.4.1.2 Perdas Aparentes

As perdas aparentes se originam das ligações clandestinas ou não clandestinas, hidrômetros domiciliares defeituosos ou adulterados, falta de medição, fraudes nos hidrômetros e outros. Os fatores importantes na ocorrência das perdas aparentes: os erros de medição (macro e micromedição) e aqueles volumes destinados ao suprimento social (NEGRISOLLI, 2009). Entretanto, segundo este mesmo autor, os volumes destinados ao suprimento social devem ser analisados cuidadosamente, visto que neste caso há consumo de água, inexistindo receita. Deste modo, a efetivação destas ligações não necessariamente irá reduzir o consumo de água, uma vez que em geral estas ligações são localizadas nas periferias das cidades, onde na

maioria das vezes, tais ligações são atendidas por tarifas sociais. Isto não quer dizer que estes usuários apresentam consumo de modo a garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos conforme observado por Garcia & Kiperstok (2010).

A redução das perdas não físicas permite aumentar a receita tarifária, melhor eficiência dos serviços prestados e desempenho financeiro do prestador de serviços. Contribui indiretamente para a ampliação da oferta efetiva, uma vez que induz à redução de desperdícios por força da aplicação da tarifa aos volumes efetivamente consumidos.

A macromedição é o conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição, enquanto à micromedição é a medida realizada referente ao consumo de cada consumidor (PNCDA, 2004). Assim, em geral, há no sistema de micromedição a maior quantidade de erro de medição e na macromedição o maior volume de água perdida.

Há no Brasil um predomínio de sistemas de abastecimento mistos (direto e indireto), aquele em que há pontos de consumo abastecidos diretamente pela rede pública e outros consumos com reservatório domiciliar (PNCDA, 2004). A inserção de reservatórios nos domicílios é decorrente da interrupção, escassez ou irregularidade do abastecimento. Entretanto, são comuns, nos sistemas indiretos, volumes escoados a pequenas vazões, não ser registrados. Isto irá ocorrer quando o nível do reservatório estiver próximo do limite superior e a torneira bóia estiver praticamente fechada, ou seja, quando a vazão de entrada for inferior à vazão mínima dos hidrômetros (GULARTE, 2005). “De maneira geral, os hidrômetros apresentam erros de medição mais elevados quando medem sob vazões muito pequenas comparativamente à sua vazão nominal” (PNCDA, 2004).

Deste modo, uma comparação das perdas aparentes e das águas não faturadas entre países que utilizam caixas d’água e aqueles onde o abastecimento é direto, não é apropriada (MIRANDA, 2002).

Desta forma, as perdas aparentes implicam em perdas financeiras, requerendo ações administrativas e comerciais, uma vez que a água é consumida, porém não é faturada.

As origens e magnitudes das perdas aparentes por subsistema podem ser representadas esquematicamente (Quadro 7).

Quadro 7: Perdas aparentes no sistema de abastecimento de água: origem e magnitude

Origem	Magnitude
Ligações clandestinas/irregulares	Podem ser significativas, dependendo de: procedimentos cadastrais e de faturamento, manutenção preventiva, adequação de hidrômetros e monitoramento do sistema.
Ligações não hidrometradas	
Hidrômetros parados	
Hidrômetros que submedem	
Ligações inativas reabertas	
Erros de leitura	
Número de economias errado	

Fonte: PNCD - DTA A2, 2003.

Portanto, a redução da demanda de água dos sistemas de abastecimento de água envolve desde questões relativamente simples (fechar torneiras e reparar vazamentos visíveis nas ruas de forma rápida, ágil e efetiva) e ações mais complexas, como por exemplo, mudança de comportamento e padrão de consumo dos usuários que necessitam maior tempo para obtenção de resultados e continuidade.

Assim, as ações de controle das perdas aparentes bem como de redução do padrão de consumo, necessita de programas contínuos de educação ambiental para sensibilizar e mobilizar os usuários a mudar hábitos e costumes o que por sua vez demandam um tempo superior, quando comparado ao de controle dos vazamentos, para a obtenção dos resultados.

4.4.2 Planejamento dos Sistemas de Abastecimento de Água

Conforme discutido anteriormente o planejamento de sistema de abastecimento de água é complexo, uma vez que a demanda é função de variáveis ligadas às necessidades e comportamento humano, estas funções do tempo e do espaço. Adiciona-se a esta complexidade a incerteza das alterações climáticas: das emissões, das concentrações de gases de efeito estufa, da variabilidade natural do tempo e clima e da modelagem (Marengo *et*

al., 2011). Estes elementos exigirão novos métodos de planejamento dos sistemas de abastecimento de água (MEANS III *et al.*, 2010).

Este é um momento importante para discutir essas questões e buscar alternativas para contemplá-las no planejamento desses sistemas, visto que de acordo com o Decreto nº. 7.217/ 2010 que regulamenta a Lei nº 11.445/2007, a partir do exercício financeiro de 2014, o plano de saneamento básico será condição para o acesso a recursos da União ou daqueles financiamentos geridos ou administrados por órgão ou entidade da administração pública federal.

Mesmo sabendo da grande variedade de cenários climáticos previstos e dos custos e incertezas associados, a inserção das mudanças climáticas no planejamento dos sistemas de abastecimento de água é imprescindível para estabelecer ações mitigadoras e buscar a sustentabilidade hídrica. Entretanto ao aumentar a incerteza e com a crescente demanda de diferentes setores e usuários de água, o planejamento se torna mais complexo (MYSIAK *et al.*, 2010).

Means III *et al.* (2010) apresentam cinco métodos de planejamento para o abastecimento de água incorporando as alterações climáticas e incertezas adicionais: análise de decisão clássica, planejamento de cenários tradicionais, tomada de decisão robusta, opções reais e planejamento de portfólio. Este último, segundo tais autores, atualmente não é usado no planejamento de água. O Quadro 8 são apresentadas as principais características de tais métodos.

Assim, neste trabalho o método de planejamento usado para a avaliação dos impactos das mudanças climáticas no sistema hídrico foi o planejamento de cenários tradicionais, uma vez que se buscou testar as implicações de diferentes ações no sistema de abastecimento de água de Salvador (redução das perdas físicas e do consumo real). Para Mysiak *et al.* (2010) este método de planejamento pressupõe um acordo por planejadores, tomadores de decisão e as partes interessadas de modo que os cenários simulados sejam plausíveis.

Quadro 8: Métodos de Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água considerando às Mudanças Climáticas

Método	Características e Limitações
Análise de decisão clássica	Dá suporte aos tomadores de decisão com a catalogarem sistemática da informação e matematicamente valorando e ordenando as alternativas, confrontando-as com objetivos potencialmente conflitantes. Descreve a incerteza com probabilidades. A análise conduz a estratégias ótimas, geralmente o menor custo. A grande limitação deste método consiste na determinação das distribuições de probabilidade relacionadas às mudanças climáticas.
Planejamento de cenários tradicionais	Elabora vários cenários futuros hipotéticos, sem atribuir qualquer probabilidade de sua ocorrência. Estes cenários extrapolam as tendências atuais e contemplam condições inesperadas, mas plausíveis.
Tomada de decisão robusta	Combinação dos dois métodos anteriores, entretanto elabora cenários quantitativos. Está concentrado em um pequeno grupo de profissionais, pois necessita de sofisticados esforços computacionais e capacidade analítica.
Opções reais	Fundamenta-se na análise financeira de projetos/ações, em que a incerteza de uma estratégia é baseada na comparação com os custos, cujos riscos estão correlacionados com as estratégias. Os resultados são flexíveis possibilitando que os projetos dos sistemas de abastecimento de água sejam retardados e separados em etapas/fases. Este método é complexo e relativamente desconhecido no setor da água.
Planejamento de portfólio	Incorporam critérios financeiros de modo a permitir uma seleção de portfólio contendo uma combinação de recursos (monetizáveis) ou estratégias que minimizem a exposição financeira devido a futuros cenários de mercado. No caso do planejamento de SAA incorporando as incertezas dos modelos de clima, este portfólio seria, por exemplo: reservas hídricas superficiais e subterrâneas, programas de gestão da demanda, fontes/mananciais emergenciais, estruturas de preço (tarifária), mudanças operacionais e padrões de garantia. Neste modelo a incerteza é tratada com probabilidades.

Fonte: Adaptado de MEANS III, *et al.* (2010)

Para Porto *et al.* (2005) cada cenário procura estabelecer uma sequência lógica de eventos, partindo do presente a uma situação futura, servindo, portanto, para preparar a ação em face de discontinuidades, oportunidades ou ameaças possíveis ou prováveis, não sendo sua elaboração um exercício especulativo, de pouca ou nenhuma utilidade prática. Tais autores fazem as seguintes considerações com relação à construção de cenários:

- Nenhum cenário acontece exatamente como descrito;

- A trajetória da realidade, na grande maioria dos casos, pode evoluir dentro de um conjunto de cenários traçados;
- Um bom conjunto de cenários tem grande utilidade como sistema de referência para situações futuras;
- Um conjunto de cenários reduz os conflitos de percepção a respeito do futuro e melhora a qualidade das decisões estratégicas, tornando-as mais controláveis e avaliáveis;
- Cenários não têm a pretensão de prever o futuro, mas sim de indicar possíveis estratégias a serem adotados caso determinada situação de futuro se configure.

Deste modo, os cenários simulados neste estudo basearam-se em seis projeções de demanda do sistema de abastecimento de água considerado duas projeções de disponibilidade hídrica do reservatório de Pedra do Cavalo, com base no princípio que as séries históricas são estacionárias e no cenário de mudanças climáticas (A1B), usando o método *Downscaling*, cujas condições de contorno utilizadas foram aquelas do modelo global HadCM3.

5 BACIA DO RIO PARAGUAÇU

A bacia do rio Paraguaçu está localizada na região centro-leste do Estado da Bahia, inserida na região semi-árida e ocupando uma área de 55.317 km². Esta região apresenta climas diferenciados, com território de cerca de 10% do Estado da Bahia, sendo inserida totalmente neste. Tem o rio Jacuípe como principal afluente, sendo o ponto de confluência o reservatório de Pedra do Cavalo. Esta é uma bacia inteiramente estadual, delimitada pelas coordenadas 11°17' e 13°36' de latitude sul e 38°50' e 42°01' de longitude.

Essa bacia apresenta regiões climáticas diversificadas, as nascentes, por exemplo, localizadas na Chapada Diamantina, apresentam clima de montanha (clima variando entre úmido e sub-úmido), enquanto a parte média é dominada pelo clima semi-árido.

Predominantemente, a bacia apresenta condições climáticas do semi-árido e conseqüentemente escassez de água, sendo altamente vulnerável às secas, sendo isto determinante na construção de alguns reservatórios. Estes atuam como regularizadores das vazões de modo a armazenar excedentes hídricos, dos períodos úmidos, para uso nos períodos de estiagem.

Atualmente a bacia possui cinco reservatórios com capacidade máxima de armazenamento acima de 6.000 Hm³: Apertado (204,11 Hm³), Bandeira de Melo (318 Hm³), França (59 Hm³), São José do Jacuípe (355 Hm³) e Pedra do Cavalo (5.330 Hm³). Os reservatórios de Apertado, Bandeira de Melo e de Pedra do Cavalo estão localizados no rio principal, enquanto os demais no Jacuípe. Está prevista a implantação de dois reservatórios: de Baraúnas e de Casa Branca com capacidade máxima de armazenamento de 39 Hm³ e 22,37 Hm³, respectivamente, ambos nas nascentes do rio Paraguaçu. Na Figura 6 está apresentado o mapa de localização desta bacia.

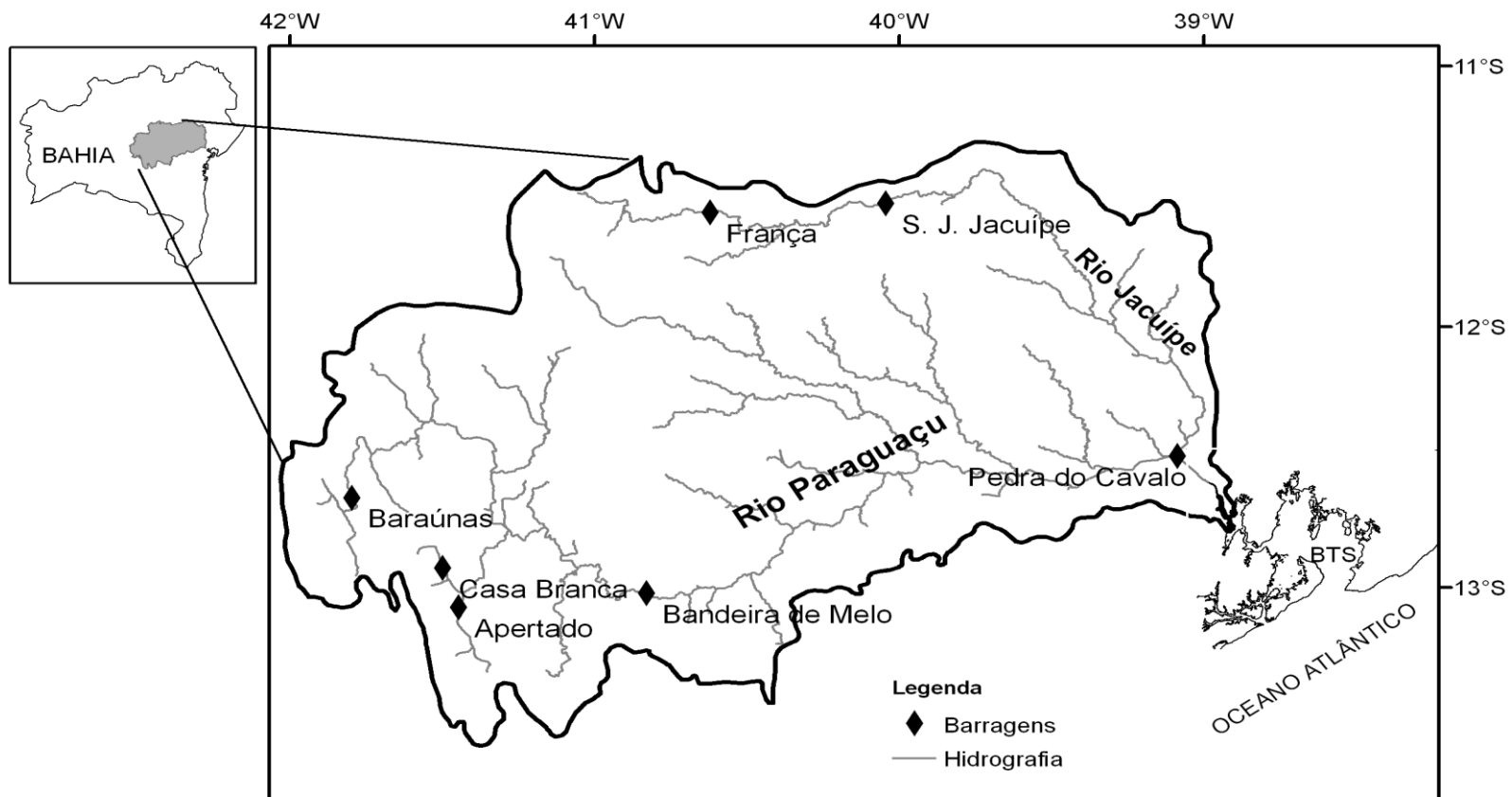


Figura 6: Localização da bacia do rio Paraguaçu

O regime hidrológico da bacia do rio Paraguaçu apresenta forte sazonalidade, com altas vazões ocorrendo nos meses de dezembro a abril, com máximas principalmente de dezembro a fevereiro (GENZ, 2006), apresentando o rio Jacuípe características de intermitência.

Dentre os usos consuntivos, aqueles que mais demandam águas da bacia do rio Paraguaçu são: a irrigação, principalmente aquelas dos reservatórios de Apertado e Bandeira de Melo, e abastecimento humano, especialmente o sistema de abastecimento de água de Salvador. Estes dois usos utilizam cerca de 80% do total de águas retiradas desta bacia.

Desde 1989, com a construção do reservatório de Pedra do Cavalo, a água do Paraguaçu vem abastecendo a Região Metropolitana de Salvador (RMS), municípios da Região Fumageira e de Feira de Santa, entre outras localidades, bem como a Refinaria Landulpho Alves (Petrobrás) e a Dow Química e, mais recentemente, é utilizada para a geração de energia. Este reservatório atende atualmente com cerca de 60% das demandas de água de Salvador.

Mesmo, desconsiderando os efeitos das mudanças climáticas sob os recursos hídricos, Medeiros *et al.* (2004) avaliaram a relação demanda/disponibilidade do sistema de reservatório a montante de Pedra do Cavalo para os anos de 2012 e 2022 utilizando para isto as demandas de projeto e, observaram que haverá falhas no atendimento às demandas a partir dos reservatórios desta bacia a partir de 2012, com exceção aquelas dois reservatórios a montante de Pedra do Cavalo (Baraúnas e São José do Jacuípe).

Faria (2003) realizou simulações de cenários na bacia do rio Paraguaçu, cuja área de estudo foi aquela da nascente ao reservatório de Bandeira de Melo. Os cenários foram construídos a partir da variação de prioridades de atendimentos as demandas dos usos a jusante do reservatório de Bandeira de Melo, de irrigação e armazenamento de água dos reservatórios de Apertado e Bandeira de Melo. Esta autora constatou que em 50% dos cenários houve atendimento as demandas para abastecimento humano, dessedentação animal e vazões ecológicas nos quatro reservatórios analisados (Baraúnas, Casa Branca, Apertado e Bandeira de Melo). Esta autora constatou que caso haja uma

imposição de garantia de vazões superiores a $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para as demandas a jusante de Bandeira de Melo quatro cenários não seriam os melhores.

Andrade (2006) avaliou a operação do reservatório de Pedra do Cavalo, considerando a sazonalidade das demandas (abastecimento humano, industrial, irrigação e geração de energia), a variabilidade de vazões afluentes, evaporação e precipitação direta no lago, as restrições impostas à geração de energia elétrica, os limites físicos e operacionais do reservatório e exigências ambientais. Neste estudo foram diagnosticadas situações potencialmente limitadoras à operação de captações de água existentes no lago, com ênfase ao abastecimento de água da Região Metropolitana de Salvador (RMS).

Portanto, é provável que a redução das vazões superficiais da bacia do rio Paraguaçu decorrente das mudanças climáticas intensifique falhas no atendimento às demandas pelas águas desta bacia.

6 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SALVADOR

Na cidade do Salvador há inúmeras nascentes e rios que até a metade do século XIX abastecia seus habitantes com água de boa qualidade. Entretanto, estes foram ao longo do tempo contaminados, principalmente com esgotos.

No início século XX, havia falta d'água, a falta de recursos e perspectivas de investimentos na solução para melhoria da prestação dos serviços de abastecimento de água de Salvador. Neste período começaram os estudos de avaliação dos mananciais de Cascão, Saboeiro, Cachoeirinha, Pituaçu, Pedras, Jaguaripe e Taburugy. Contudo, em 1924, apenas o Pituaçu apresentava suas águas “*em bom estado*”. Devido ao agravamento dos problemas com o abastecimento, o então governador Góes Calmon, transferiu a responsabilidade da execução das obras de saneamento para o Estado (EMBASA, 2003).

Em 1925, o Estado contratou o escritório do engenheiro Saturnino de Brito e no ano seguinte este apresentou o diagnóstico dos recursos hídricos de Salvador e apresentou três alternativas para o abastecimento de água, (EMBASA, 2003):

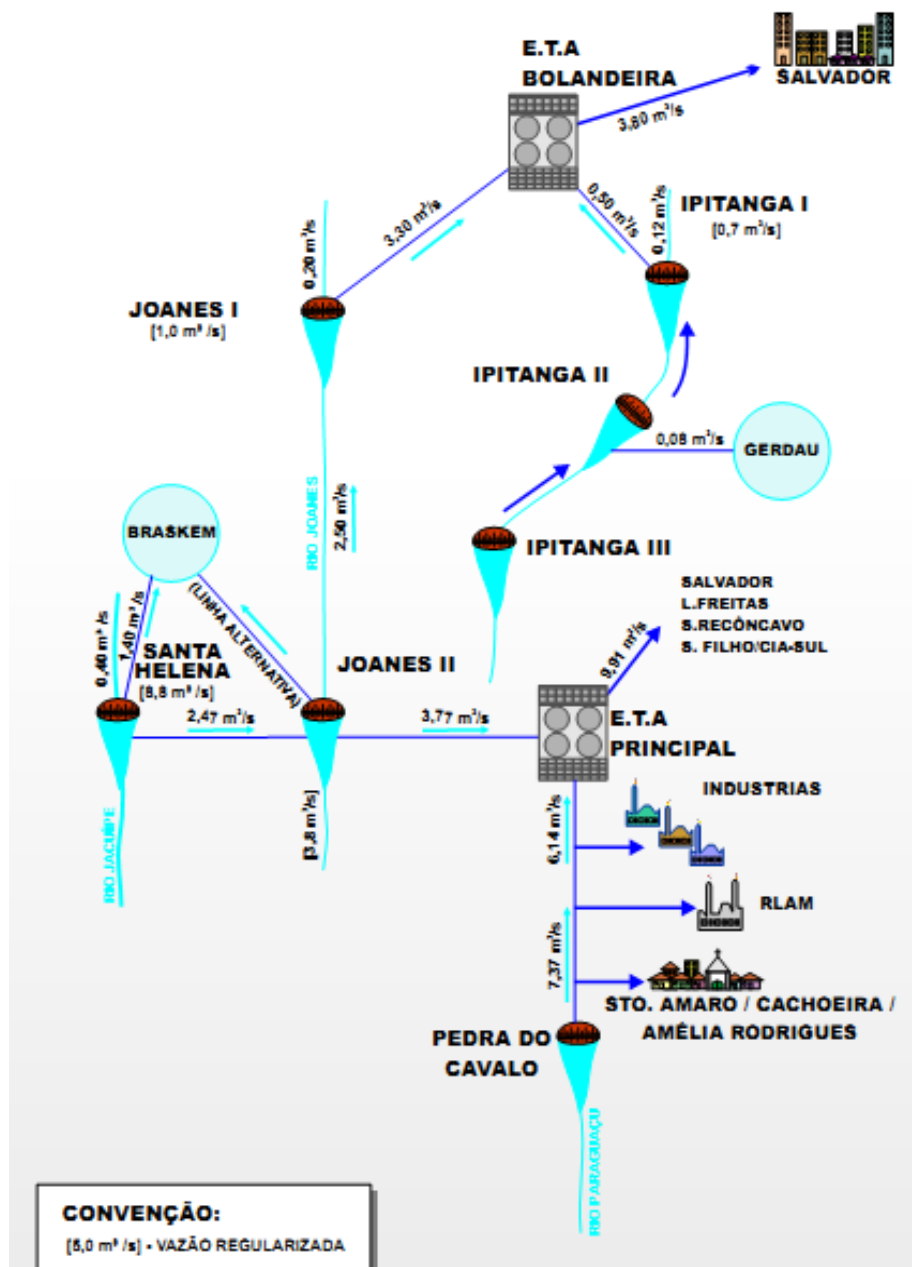
- Captação de águas subterrâneas através da perfuração de poços e nos rios Cobre, Jaguaripe e Ipitanga e futuramente no Joanes;
- Uma primeira etapa aduzindo uma vazão de $0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do Joanes para a primeira estação de tratamento de água da Bolandeira. Esta foi construída em 1936. Segunda etapa: outra adutora para transportar a mesma vazão da primeira etapa. Terceira etapa: captação nos rios Cobre, Jaguaripe e Ipitanga.
- Adução do rio Joanes.

Em 1956, decidiu-se construir a barragem de Joanes I, a qual teve a obra finalizada em 1964. Na década de 70, em decorrência do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), foi instituída a Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A (EMBASA), a qual incorporou os serviços de água e esgoto de Salvador.

No período de 1964 a 1971 foram construídas as barragens de Joanes II e Ipitanga III (atendimento a demanda industrial), reservatórios, implantando o abastecimento no subúrbio ferroviário e construído mais uma estação de tratamento no Parque da Bolandeira. Entre 1976 a 1986, foram ampliadas as duas estações de tratamento deste parque, implantada a segunda adutora do Joanes e o reservatório de Santa Helena, localizado no rio Jacuípe. Este reservatório rompeu, sendo reconstruído em 1999 e finalizado a obra em 2000.

Em 1989, após a construção do reservatório de Pedra do Cavalo (rio Paraguaçu) e a implantação da ETA Principal o abastecimento de Salvador passou a ser regular. Este reservatório, conforme dito anteriormente, atendendo o abastecimento da Região Metropolitana de Salvador, Zona Fumageira, Feira de Santa, a Refinaria da Petrobras, a geração de energia, entre outras localidades.

Atualmente, o sistema de abastecimento de água de Salvador é integrado com as cidades de Lauro Freitas, Simões Filho, Candeias, Madre de Deus e São Francisco do Conde. Este sistema integrado é abastecido pelos reservatórios de Pedra do Cavalo (rio Paraguaçu), duas barragens no rio Joanes e três no rio Ipitanga (Figura 7). Recentemente, devido à contaminação, as águas dos rios do Cobre e Pituaçu deixaram de ser utilizados para o abastecimento de Salvador. Na Figura 7 é apresentado este sistema.



Fonte: SEDUR (200-)

Figura 7: Fluxograma Atual do Sistema de Abastecimento de Água de Salvador

O sistema de abastecimento de água da cidade de Salvador atende cerca de 80 % da população, com extensão da rede de aproximadamente 5.000 Km e índice de perda de faturamento de quase 50% (SNIS, 2007). A Tabela 1 apresenta dados do sistema de abastecimento da cidade do Salvador.

Tabela 1: Balanço hídrico histórico do sistema de distribuição de água de Salvador

Ano de referência	Volume de água produzido [1.000 m³/ano]	Volume de água tratada importado [1.000 m³/ano]	Volume de água de serviço [1.000 m³/ano]	Volume de água consumido [1.000 m³/ano]
1995	594.220,0			271.925,0
1996	569.181,0			326.930,5
1997	539.944,5			315.360,0
1998	559.013,0	214,0		319.587,9
1999	550.091,0	206,0		314.254,0
2000	536.687,1	251,5		313.100,3
2001	531.059,8	199,3	11.875,1	304.956,1
2002	549.654,1		10.550,1	315.770,4
2003	569.120,0		9.278,2	336.513,2
2004	577.365,3		11.489,8	347.922,1
2005	599.494,0		16.347,9	353.189,3
2006	612.013,0		16.617,8	369.253,0
2007	629.799,8		17.525,8	382.675,7

Fonte: Série historia SNIS, (2007)

Assim tem-se que o volume de água perdido na distribuição corresponde ao volume de água produzido, somado com volume de água tratada importada, menos o volume de água faturada e consumida. Na Tabela 2 constam os volumes de água perdida na distribuição e os índices de perda na distribuição.

Tabela 2: Índice de perdas do sistema de distribuição de água de Salvador – período de 1995 a 2007

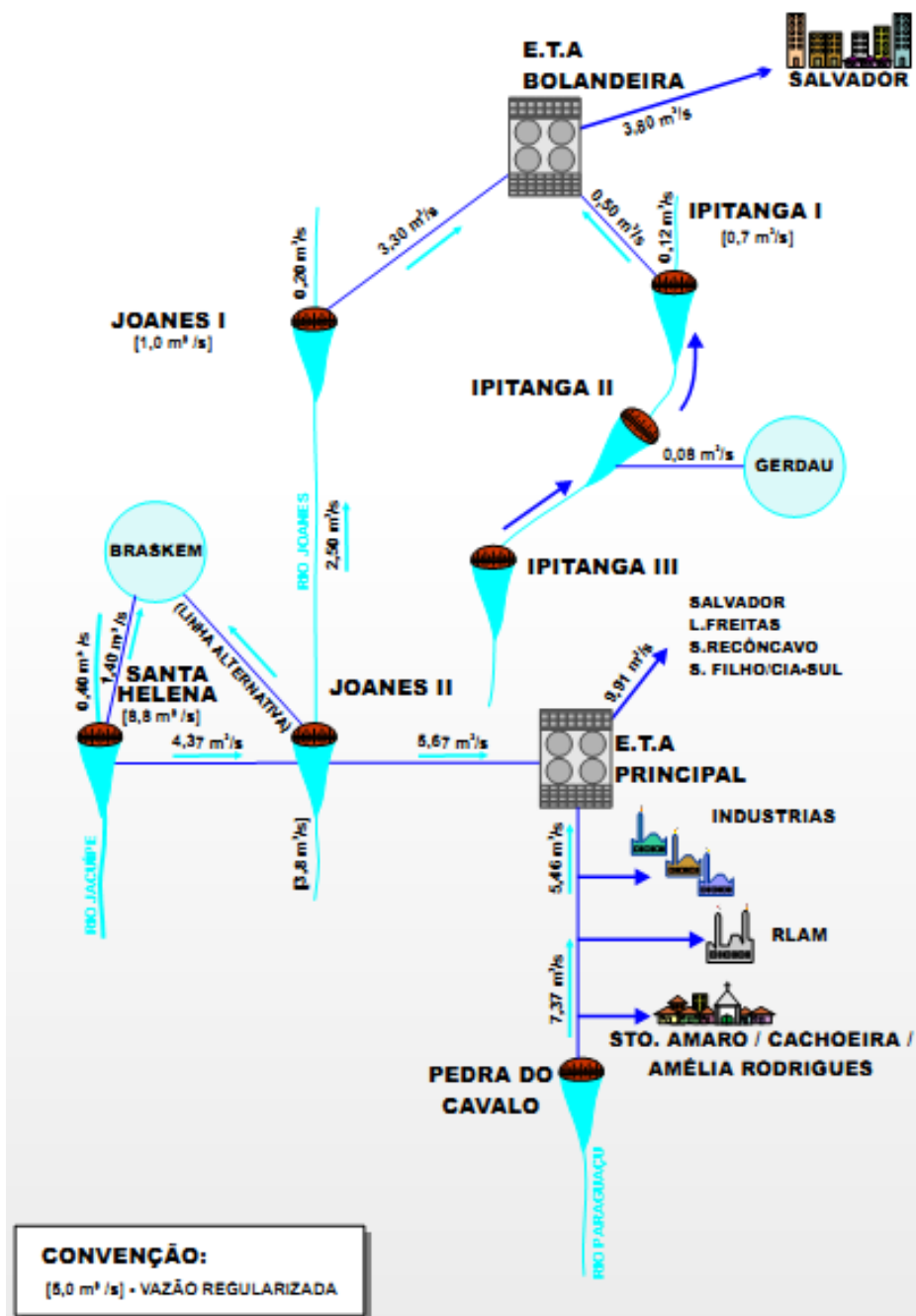
Ano de referência	Volume de água perdida na distribuição [1.000 m³/ano]	Índice de perdas na distribuição [percentual]
1995	322.295,0	54,24
1996	242.250,5	42,56
1997	224.584,5	41,59
1998	239.639,1	42,85
1999	236.043,0	42,89
2000	223.838,3	41,69
2001	214.427,9	41,29
2002	223.333,6	41,43
2003	223.328,6	39,89
2004	217.953,4	38,52
2005	229.956,8	39,43
2006	226.142,2	37,98
2007	229.598,3	37,50

Fonte: Série historia SNIS, (2007)

Observa-se que o índice de perdas na distribuição e o volume médio anual perdido reduziram ao longo dos anos. Contudo, estes valores ainda são elevados, uma vez que água perdida na distribuição já contempla custos com produtos químicos, recursos humanos, energia de transporte e toda a infraestrutura do sistema. Considerando o volume de água perdida na distribuição em 2007 e o valor da tarifa média de água para o ano de 2007 de R\$ 1,71.m⁻³ (SNIS, 2007), observa-se uma perda equivalente a R\$ 390 milhões, valor superior ao total de investimento R\$ 30.055.000. Ressalta-se que na medida em que o índice de atendimento a água aproxima-se da universalização, os investimentos tendem a diminuir.

A prefeitura de Salvador está elaborando o Plano Municipal de Saneamento cujo horizonte do planejamento é até 2030. Neste planejamento as projeções de população e o consumo médio *per capita* (conforme apresentado na metodologia) foram aquelas determinadas durante a revisão e atualização do Plano Diretor de Esgotos de Salvador e Lauro de Freitas. Dentre as ações possíveis de gestão da demanda, vem sendo admitido, apenas o controle operacional, cuja meta de perdas na distribuição a ser atingida em 2030 é de 30%. Adicionalmente, foi avaliada a disponibilidade hídrica dos mananciais que atualmente abastecem a Região Metropolitana de Salvador e daqueles com potencial de ser utilizados considerando a estacionariedade dos eventos hidrológicos e, portanto, das vazões.

A Figura 8 apresenta o fluxograma do sistema de abastecimento de Salvador que está sendo admitido na elaboração do Plano Municipal de Saneamento.



Fonte: SEDUR (200-)

Figura 8: Fluxograma Proposto para 2030 para o Sistema de Abastecimento de Água de Salvador

Conforme essa figura, observa-se que apesar do projeto inicial do reservatório de Pedra do Cavallo ter sido definido uma demanda de $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para fins de abastecimento urbano de água, este continuará contribuindo com a vazão de $7,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sendo a demanda futura atendida com as águas da barragem de Santa Helena, por meio da reversão para o reservatório de Joanes II – cuja capacidade de regularização é de $3,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – e desta para a ETA Principal. A

justificativa para esta estratégia é o menor custo de adução das águas de Santa Helena, o que implicaria em dispensar os investimentos vultosos que seriam necessários para ampliação da adutora de Pedra do Cavalo.

Conforme apresentado anteriormente, os cenários oriundos dos modelos hidroclimáticos prevêm redução da disponibilidade hídrica nas bacias dos rios Paraguaçu e Pojuca, os quais apresentam regimes hidrológicos similares aos demais rios da bacia do Recôncavo Norte (Jacuípe e Joanes) e, portanto, da capacidade de regularização dos reservatórios que abastecem Salvador que poderá comprometer fornecimento de água desta cidade nos próximos anos.

7 METODOLOGIA

Este trabalho tem como intuito analisar a disponibilidade de água do reservatório de Pedra do Cavalo, para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento de Salvador, considerando os usos das águas na bacia e possíveis mudanças climáticas.

Assim, de modo a atingir esse objetivo, é necessário dispor das vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu. Estas vazões e os demais dados climáticos foram obtidos por meio do projeto “Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia”, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) desenvolvido pelo grupo de pesquisadores da Universidade Federal da Bahia (UFBA) (Genz *et al.*, 2011). Foram então disponibilizados dois conjuntos de vazões simuladas a partir dos dados climáticos. O primeiro conjunto foi determinado considerando a estacionariedade das séries históricas enquanto o segundo considerou as alterações decorrentes das mudanças climáticas. Estes conjuntos de vazões simuladas caracterizou duas projeções de disponibilidade hídrica da bacia do rio Paraguaçu.

De posse das vazões afluentes obtidas conforme descrito anteriormente, foi realizada a avaliação da capacidade de regularização do sistema de reservatórios da bacia do rio Paraguaçu sem efeito das mudanças climáticas para assim servir de referência diante da hipótese da ocorrência de mudanças climáticas.

Posteriormente, foram realizadas séries de simulações de 12 (doze) cenários de modo a permitir analisar a sustentabilidade do gerenciamento das águas da bacia do rio Paraguaçu, em especial, do reservatório de Pedra do Cavalo. Foram consideradas diferentes projeções de demanda do sistema de abastecimento de Salvador frente às duas projeções de disponibilidade hídrica determinadas anteriormente, sendo necessário definir critérios para a construção destes cenários.

O modelo de simulação do sistema hídrico da bacia do rio Paraguaçu utilizado foi do tipo rede de fluxo, o AcquaNet, em seu módulo de alocação de água e energia elétrica.

De maneira geral, a pesquisa foi desenvolvida seguindo o esquema do desenho apresentado na Figura 9, a qual dispõe as etapas executadas para alcance dos objetivos propostos. O detalhamento das etapas é apresentado na seqüência.

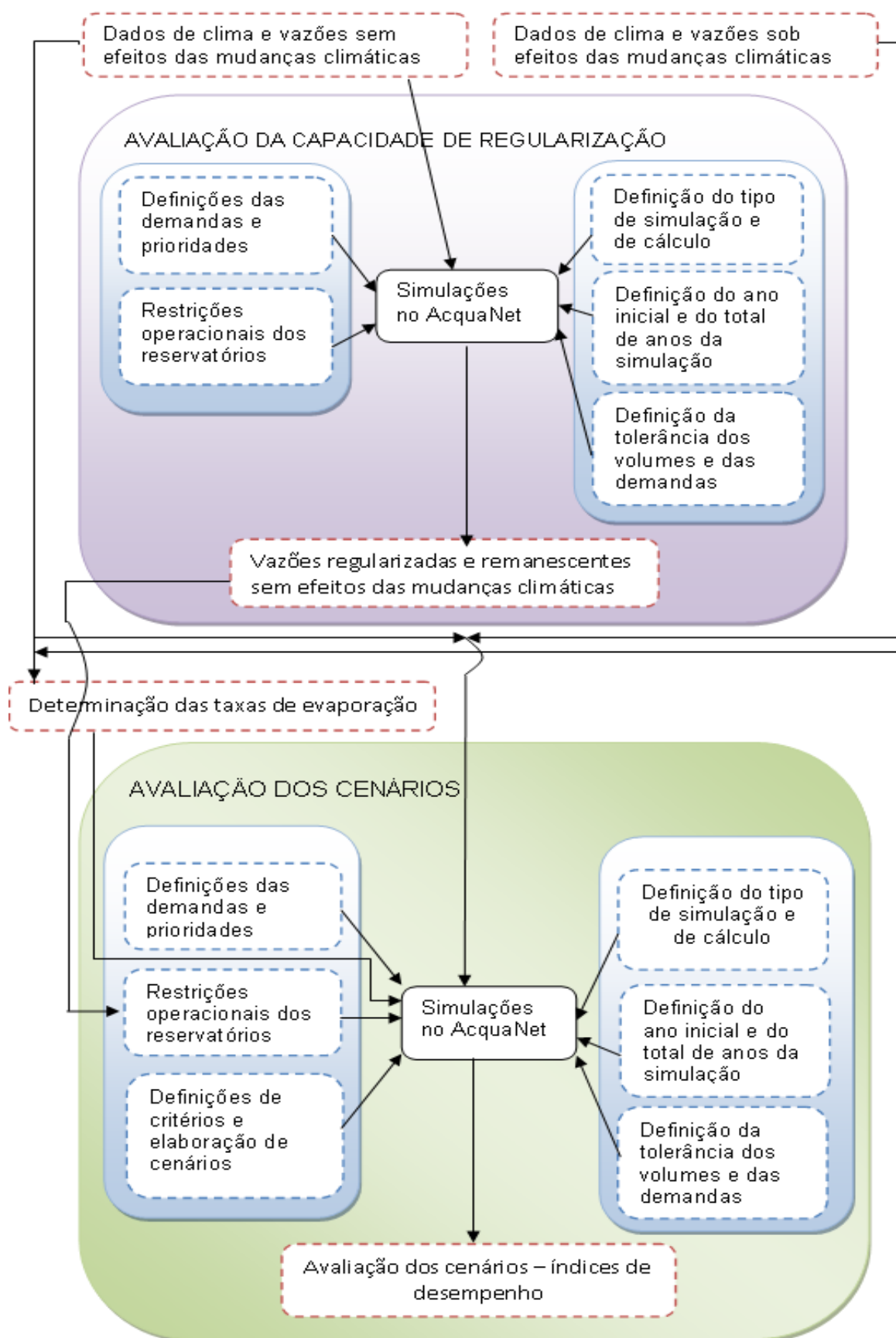


Figura 9: Desenho da Pesquisa

7.1 Obtenção das Séries de Dados

As séries de vazões simuladas, entradas do modelo de rede de fluxo, foram geradas durante a execução do projeto “Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia”, por pesquisadores da Universidade Federal da Bahia (UFBA) (Genz *et al.*, 2011). Este grupo determinou dois conjuntos de séries de vazões diárias simuladas: o primeiro considerando o clima presente e o segundo incluindo as alterações decorrentes das mudanças climáticas. A seguir é descrito como estes autores geraram tais dados.

Genz *et al.* (2011) utilizaram o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) para simular o processo de transformação de clima-precipitação-vazão e, assim, determinaram as séries de vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu necessárias para a presente pesquisa. O MGB-IPH é um modelo hidrológico distribuído com forte embasamento físico, sendo executados os processos de balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula; e o escoamento na rede de drenagem em toda a bacia hidrográfica.

O MGB-IPH foi desenvolvido para grandes bacias, tipicamente superiores a 10.000 km² (COLLISCHONN, 2001; COLLISCHONN & TUCCI, 2001). Este modelo tem sido utilizado em grandes bacias hidrográficas do Brasil, entre estas as dos rios São Francisco (SILVA *et al.*, 2004), do Alto do Paraguai Alto (RIBEIRO NETO, 2006) e do Madeira (SIQUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2010). O modelo foi utilizado em bacias do estado da Bahia - Pojuca, Paraguaçu e Grande (GENZ *et al.*, 2010), sendo obtidos bons resultados tanto para simulação quanto para previsão, pois conseguiu reproduzir os hidrogramas observados nas subbacias que formam as bacias citadas.

Dentre as vantagens do modelo MGB, destaca-se que o mesmo incorpora a variabilidade espacial da precipitação e das características físicas da bacia, podendo ser utilizado para previsão de vazão em tempo real, previsão de vazão sazonal, estimativa de disponibilidade hídrica em locais sem dados e análise de impactos da construção e operação de múltiplas obras hidráulicas sobre o regime hidrológico (COLLISCHONN, 2001).

Na calibração do modelo hidrológico foram utilizados dados observados de precipitação, do clima e de vazões observadas do período de 1963 a 1990.

Em seguida, foram utilizados como entrada do modelo hidrológico calibrado os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos, pressão atmosférica e precipitação total do modelo de clima sem e sob efeito das mudanças climáticas. A cobertura e uso do solo não foram alterados e, por falta de informações, a insolação foi mantida igual para as duas projeções de vazões.

Os dados de clima sob efeito das mudanças climáticas para determinação das vazões simuladas foram gentilmente fornecidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

O modelo atmosférico utilizado para geração do clima futuro foi o ETA (CEPTEC/INPE), com condições iniciais e de fronteira fornecidas pelo modelo climático global HadCM3. As simulações foram realizadas para um período de referência (1961 a 1990) estabelecido como clima atual e para um período futuro de 2010-2040, sendo este último projetado para o cenário SRES A1B (cenário de estabilização das emissões).

O modelo ETA vem sendo utilizado para produzir previsões de tempo sobre a América do Sul desde 1996 (CATALDI *et al.*, 2007). Segundo Haas e Mine (2002) este modelo é utilizado na Iugoslávia (*Federal Hydrometeorological Institute*, FHMI), nos Estados Unidos da América (*National Center for Environmental Prediction*, NCEP), na África do Sul (*South African Weather Bureau*, SAWB), na Turquia (*Turkish Meteorological Service*) e na Grécia (*Hellenic National Meteorological Service*).

A série de vazões projetadas para 2011 a 2040 foi determinada considerando o cenário de emissões SRES A1B, uma vez que este vem sendo analisado nacionalmente através da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (REDE CLIMA), instituída pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). No cenário A1B considera-se que existirá um equilíbrio entre o uso dos combustíveis fósseis e outras fontes de energia (MARENGO, 2007), sendo considerado como um cenário intermediário entre os de alta

emissão de gases de efeito estufa ou pessimista (cenários A2) e baixa emissão ou otimista (cenário B2).

O primeiro conjunto de dados de vazões simuladas é referente ao clima presente e, portanto, sem alterações no clima, admitindo que tais séries são estacionárias e que tais amostras são representativas. Para a outra série de vazões foram utilizados os dados climáticos derivados do clima projetado para o período de 2011 a 2040, para o cenário A1B de emissões de gases do efeito estufa. Nos dois conjuntos de séries de vazões simuladas foi utilizada a metodologia *off-line*, uma vez que o modelo hidrológico não interage com o atmosférico.

Neste trabalho, o primeiro conjunto de vazões simuladas foi chamado de “vazões sem efeitos das mudanças climáticas” e o segundo “vazões sob efeito das mudanças climáticas”. Maior detalhamento da obtenção dos dados hidroclimáticos sem e sob efeito das mudanças climáticas em Genz *et al.* (2011)

7.2 Definições Estruturais do Modelo de Rede de Fluxo

Para a simulação do sistema de reservatórios da bacia do rio Paraguaçu foi utilizado o modelo de rede de fluxo AcquaNet (LABSID, 2002), por: reunir automaticamente uma série de funções, ser construído para sistemas complexos, apresentar uma interface de comunicação amigável com o usuário, sendo possível comparar os resultados de quaisquer projetos previamente simulados.

O AcquaNet integra simulação e otimização, com opção de cálculo em calibração e em simulação contínua no módulo de alocação de água. Neste modelo, para as demandas dos elementos do sistema (nós, links e reservatórios) são definidas diferentes prioridades de atendimento às demandas e apresenta duas opções de cálculos (calibração e estados hidrológicos) em dois tipos de simulação (contínua e planejamento tático).

Uma das diferenças da simulação contínua do planejamento tático refere-se à metodologia utilizada para o cálculo do volume de reservação inicial do segundo ano. Enquanto na primeira parte-se com volumes iniciais iguais aos

volumes finais do ano anterior, no planejamento tático os volumes iniciais de todos os anos são mantidos constantes, sendo aqueles fornecidos pelo usuário (LABSID, 2002).

Na opção de cálculo de “estados hidrológicos” considera-se a quantidade de água armazenada nos reservatórios para determinar o valor de demanda, de volume meta e as prioridades que foram utilizadas no cálculo de cada um dos meses. Por outro lado, na opção “calibração” o modelo efetua os cálculos com os valores fornecidos sem considerar o estado atual do sistema, portanto, assume valores constantes (LABSID, 2002).

O usuário do AcquaNet deve fornecer séries de vazões afluentes mensais com duração igual a NT (número total de anos de simulação), sendo os cálculos efetuados mensalmente para todos os anos.

Andrade (2006) e Schardong *et al.* (2009) salientam que este modelo realiza otimizações estáticas, sequencialmente em intervalo de tempo mensal, entretanto não garante o ótimo global para um período de tempo à frente, sendo considerado pelo primeiro autor como um modelo míope, por não “enxergar o futuro”. Schardong *et al.* (2009) recomenda, para obtenção de melhores resultados, a utilização de um modelo capaz de executar a otimização da rede de fluxo para todo o período de análise.

Neste trabalho, a simulação do sistema de reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, com especial atenção ao desempenho do reservatório de Pedra do Cavalo para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento de Salvador, considerando as intervenções humanas na bacia e possíveis mudanças climáticas, será executada no módulo de alocação de água, com opção de cálculo em calibração e tipo de simulação contínua. Portanto, foram definidas, independente do volume de água armazenado no reservatório, as prioridades, as demandas e volumes-meta.

O período inicial da simulação foi outubro de 2011 e o NT 29 anos. Definiu-se uma tolerância de 5% da demanda necessária, acima da qual o modelo irá considerar a ocorrência de uma falha no atendimento. A tolerância dos volumes (porcentagem, que corrige o valor da capacidade mínima dos reservatórios) foi

definida em 10%. Na Figura 10 está apresentada a rede de fluxo construída para avaliação dos objetivos propostos neste trabalho.

O Quadro 9 são apresentados os detalhes da nomenclatura e a correspondência de cada nó com o sistema físico da bacia de estudo. Aos links foram informados as capacidade máximas, sendo estas uma vazão superior a vazão máxima afluente. As mínimas foram definidas como sendo “zero”. As vazões remanescentes foram retornadas para os nós de jusante e não foram atribuídas perdas aos links.

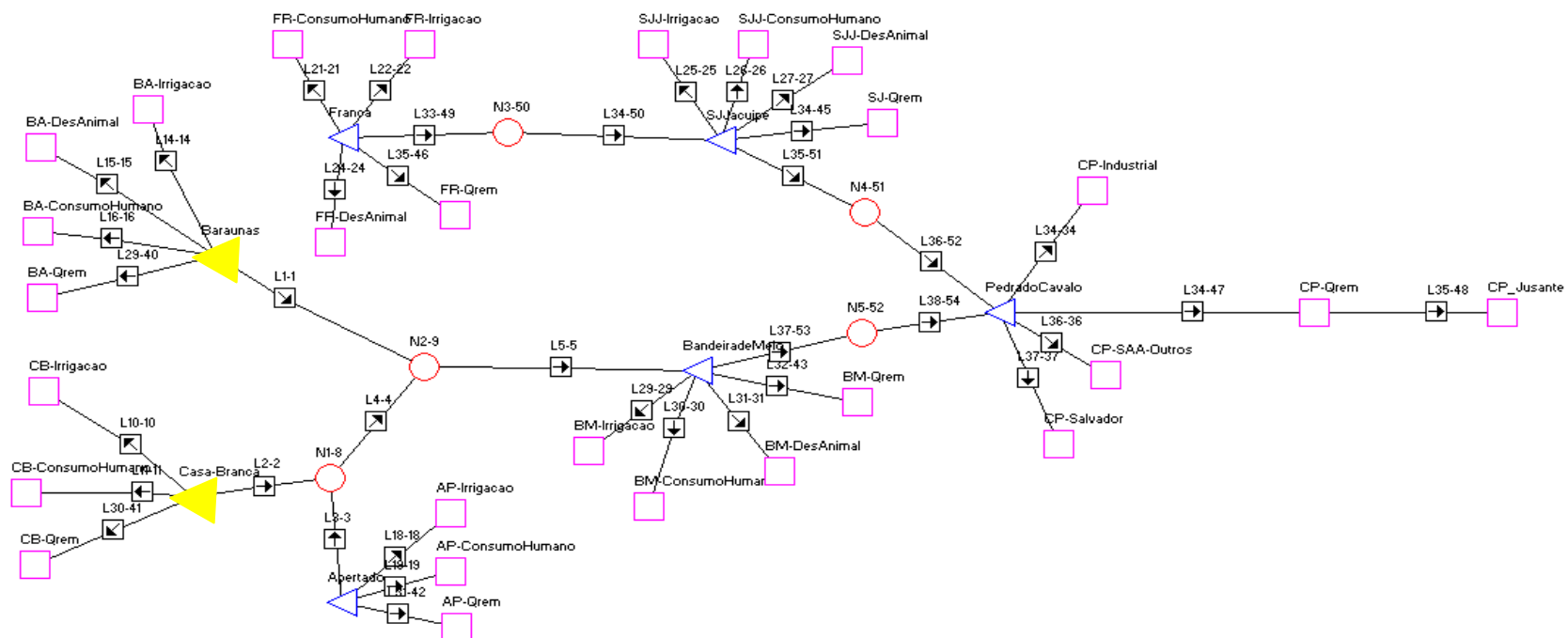


Figura 10: Rede de Fluxo da Bacia do rio Paraguaçu

◀ Reservatórios Existentes

◀ Reservatórios Previstos

Quadro 9: Nomenclatura do fluxograma da rede de fluxo da área da bacia do rio Paraguaçu

Nome	Tipo	Correspondência
Apertado – AP	Reservatório	Barragem de Apertado
Casa-Branca – CB	Reservatório	Barragem de Casa Branca
Baraúnas –BA	Reservatório	Barragem de Baraúnas
BandeiradeMelo –BM	Reservatório	Barragem de Bandeira de Melo
Franca – FR	Reservatório	Barragem de França
SJJJacuípe – SJJ	Reservatório	Barragem de São José do Jacuípe
PedradoCavalo -PC	Reservatório	Barragem de Pedra do Cavalo
AP-Irrigacao	Demanda	Demanda irrigação da barragem de Apertado
CB-Irrigacao	Demanda	Demanda irrigação da barragem Casa Branca
BA-Irrigacao	Demanda	Demanda irrigação da barragem Baraúnas
BM-Irrigacao	Demanda	Demanda irrigação da barragem Bandeira de Melo
FR-Irrigacao	Demanda	Demanda irrigação da barragem de França
SJJ-Irrigacao	Demanda	Demanda irrigação da barragem São José do Jacuípe
AP-ConsumoHumano	Demanda	Demanda abastecimento da barragem de Apertado
CB-ConsumoHumano	Demanda	Demanda abastecimento da barragem de Casa Branca
BA-ConsumoHumano	Demanda	Demanda abastecimento da barragem de Baraúnas
BM-ConsumoHumano	Demanda	Demanda abastecimento da barragem de Bandeira de Melo
FR-ConsumoHumano	Demanda	Demanda abastecimento da barragem de França
SJJ-ConsumoHumano	Demanda	Demanda abastecimento da barragem de São José do Jacuípe
PC-ConsumoHumano	Demanda	Demanda abastecimento da barragem de Pedra do Cavalo, exceto Salvador
CP-SAA-SSA	Demanda	Demanda abastecimento de Salvador da barragem de Pedra do Cavalo
AP-Qrem	Demanda	Demanda vazão remanescente barragem Apertado
CB-Qrem	Demanda	Demanda vazão remanescente barragem Casa Branca
BA-Qrem	Demanda	Demanda vazão remanescente barragem Baraúnas
BM-Qrem	Demanda	Demanda vazão remanescente barragem Bandeira de Melo
FR-Qrem	Demanda	Demanda vazão remanescente barragem França
SSJ-Qrem	Demanda	Demanda vazão remanescente barragem São José do Jacuípe
PC-Qrem	Demanda	Demanda vazão remanescente barragem Pedra do Cavalo
BA-DesAnimal	Demanda	Demanda dessedentação animal barragem de Baraúnas
BM-DesAnimal	Demanda	Demanda dessedentação animal barragem de Bandeira de Melo
FR-DesAnimal	Demanda	Demanda dessedentação animal barragem de França
SJJ-DesAnimal	Demanda	Demanda dessedentação animal barragem de São José do Jacuípe

Quadro 9: Nomenclatura do fluxograma da rede de fluxo da área da bacia do rio Paraguaçu - continuação

Nome	Tipo	Correspondência
PC-Industrial	Demanda	Demanda industrial da barragem de Pedra do Cavalo
CP-Foz	Demanda	Demanda de jusante a barragem de Pedra do Cavalo
N1-8	Nó de passagem	Nó de passagem das vazões efluentes dos reservatórios de Apertado e Casa Branca
N2-9	Nó de passagem	Nó de passagem das vazões efluentes ao N1-8 e do reservatório de Baraúnas
N3-50	Nó de passagem	Nó de passagem das vazões efluentes do reservatório França
N4-51	Nó de passagem	Nó de passagem das vazões efluentes do reservatório São José do Jacuípe
N5-52	Nó de passagem	Nó de passagem das vazões efluentes do reservatório Pedra do Cavalo

7.2.1.1 Restrições Operacionais dos Reservatórios

Os dados referentes a elementos operacionais – volume máximo *maximorum*, volume máximo normal, volume mínimo operacional, descarga máxima para jusante e descarga remanescente para jusante, valores da relação cota-área-volume – foram encontrados no Relatório do Grupo de Trabalho para o Planejamento e Execução da Transferência da Operação e Manutenção dos Barramentos (CERB e INEMA, 2008).

Tais dados operacionais referentes ao reservatório de Pedro do Cavalo, inclusive aqueles referentes à usina hidrelétrica, foram obtidos dos estudos de ANDRADE (2006) e ANDRADE *et al.* (2007). Na Tabela 3 são apresentadas as restrições operacionais dos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu. Dados das curvas cota x área x volume encontram-se no Anexo A.

Tabela 3: Restrições operacionais dos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu

Reservatórios	Volumes (Hm ³)		
	Útil	Máximo	Mínimo
Baraúnas	20,86	23,71	2,85
Casa Branca	21,37	22,37	1,00
Apertado	97,79	108,69	11,10
Bandeira de Melo	100,83	111,59	10,76
França	22,90	24,20	1,30
São José do Jacuípe	216,00	224,00	7,50
Pedra de Cavalo	1.865,31	4.630,96	2.765,65

Fonte: CERB e INEMA (2008)

A usina hidroelétrica de Pedra do Cavalo tem potência instalada de 160,0 MW, sendo equipada com duas turbinas do tipo Francis, de eixo vertical (ANDRADE, 2006), sendo a cota mínima de 113,00m definida como restrição para geração de energia elétrica de (CERB e INGÁ, 2008).

Os demais dados da hidrelétrica de Pedra do Cavalo necessários para simulação do modelo de rede de fluxo, tais como: potência total instalada, rendimento do conjunto turbina gerador, índice de disponibilidade, engolimento mínimo por turbina, curva chave de jusante e potência mensal desejada foram gentilmente fornecidos pela Votorantim Energia (MAFRA, 2011).

7.2.1.2 *Evaporação nos Reservatórios*

Um dos impactos esperados das mudanças climáticas para o Nordeste do Brasil é o aumento da evaporação nos reservatórios. As águas evaporadas nos reservatórios são perdas significativas da bacia hidrográfica, principalmente em regiões semi-áridas. Neste trabalho esta variável foi determinada por meio do Método de Penman por este demandar dos parâmetros: temperatura, umidade relativa do ar, insolação e velocidades dos ventos, todos estes saída dos modelos climáticos. Assim, conforme dito anteriormente, estes dados foram obtidos por meio do projeto “Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia”. Deste modo, obteve-se as médias mensais destas variáveis referente às estações climatológicas mais próximas de cada reservatório (Quadro 10).

Quadro 10: Estações climatológicas utilizadas para determinação da evaporação dos reservatórios

Reservatórios	Estações Climatológicas de Referência
Baraúnas	Lençóis
Casa Branca	Lençóis
Apertado	Lençóis
Bandeira de Melo	Itaberaba
França	Morro do Chapéu
São José do Jacuípe	Jacobina
Pedra do Cavalo	Feira de Santana

De posse dos dados de clima, foram utilizadas as equações a seguir para cálculo das evaporações em cada reservatório:

$$E = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \frac{q_{ef}}{L} + E_i}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (4)$$

Onde E é a evaporação diária em mm.dia⁻¹. $\Delta \cdot \gamma^{-1}$ é um fator que depende da temperatura da água, sendo obtido pela equação a seguir:

$$\frac{\Delta}{\gamma} = \frac{38640 \cdot 10^{\frac{7,5T}{237,3+T}}}{(237,3+T)^2} \quad (5)$$

Onde T é a temperatura em °C; q_{ef} (mm.dia⁻¹) é a radiação efetiva da atmosfera, expressa pela equação abaixo:

$$\frac{q_{ef}}{L} = \left[G(1-a) - \sigma T^4 \left(0,56 - 0,09e^{1/2} \right) (0,1 + 0,9p) \right] / L \quad (6)$$

Onde q_{ef} (mm. dia⁻¹); G é a radiação solar incidente de onda curta na superfície (cal.cm⁻². dia⁻¹); T, temperatura do ar em °K; $\sigma = 1,19 \cdot 10^{-7}$ (cal.cm⁻². dia⁻¹); L = 59 (cal.cm⁻². mm); a albedo da água = 0,05. E_i corresponde o termo da evaporação para as condições isotérmicas (eq. 7).

$$E_i = 0,35 \cdot \left(0,50 + \frac{w_2}{160} \right) \left(4,58 \cdot 10^{\frac{7,5T}{237,3+T}} - \frac{U \cdot 4,58 \cdot 10^{\frac{7,5T}{237,3+T}}}{100} \right) \quad (7)$$

Onde w_2 é a velocidade do vento em Km.dia⁻¹; T temperatura em °C; U é a umidade relativa do ar em %.

7.2.1.3 Definição das Demandas

As demandas dos reservatórios a montante de Pedra do Cavalo de 2012 a 2022 foram obtidas em Medeiros *et al.* (2004). As demandas industriais e humanas para a Região Metropolitana de Salvador, Cachoeira, São Félix, Santo Amaro, Conceição do Jacuípe e Amélia Rodrigues dependentes do reservatório de Pedra do Cavalo (2008 a 2030) foram obtidas do relatório da Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Bahia (SEDUR, 200-), intitulado “Estudos de Aproveitamento dos Mananciais da RMS – Revisão e Atualização das Proposições do Plano Diretor de Abastecimento de Água, Incluindo o rio Pojuca, e visando o Uso Racional dos Recursos Hídricos Regionais”. As

demandas dos sistemas de abastecimento de água de Feira de Santana, Santo Estevão, Antônio Cardoso, Muritiba, Cabaceiras do Paraguaçu, Santo Estevão e Cruz das Almas foram obtidas a partir das projeções de população com base nos dados disponíveis do Instituto Brasileiro de Geografia e, utilizando-se valores de consumo per capita constantes no Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento destas cidades.

A seguir são descritos os procedimentos de cálculos utilizados para projeção das demandas dos usuários das águas da bacia do rio Paraguaçu:

Dessedentação Animal – projeções geradas por Medeiros *et al.* (2004) e que foram usadas nesta dissertação. Estes autores utilizaram a seguinte expressão matemática para obtenção das projeções anuais da demanda para a dessedentação animal:

$$D_{DS} = (\text{projeção de rebanho} \times \text{consumo per capita/cabeça/dia}) \quad (8)$$

Ressalta-se que esses autores desprezaram essa demanda no reservatório de Apertado, localizado no alto trecho do rio Paraguaçu no município de Mucugê, sendo assim também assumido neste estudo. Esta demanda no reservatório de Pedra do Cavalo, segundo Medeiros *et al.* (2004), é insignificante.

Irrigação - foram utilizadas aquelas geradas por Medeiros *et al.* (2004). Estes utilizaram a seguinte expressão matemática para obtenção das projeções anuais das demandas para a irrigação:

$$D_{IRR} = (\text{projeção de área irrigada} \times \text{consumo média/área}) \quad (9)$$

Ressalta-se que esses autores, assim como neste trabalho, desprezaram esta demanda no reservatório de Pedra do Cavalo por não ser expressiva.

Geração de Energia – este uso será uma saída do modelo de rede de fluxo, uma vez que depende da disponibilidade hídrica do reservatório de Pedra do Cavalo (único a ter esta demanda) e das restrições operacionais do sistema de reservatórios da bacia do rio Paraguaçu.

Industrial – Pedra do Cavalo é o único reservatório a possuir esta demanda. Foram utilizadas as projeções do estudo de demandas da RMS (SEDUR, 200-).

Vazões remanescentes – as vazões remanescentes foram determinadas em função do critério de outorga vigente (Instrução Normativa nº. 01/2007) do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia. Portanto, as vazões remanescentes foram 20% e 5% das vazões regularizadas com 90% de garantia para os rios perenes e intermitentes, respectivamente. As vazões regularizadas foram calculadas no AcquaNet, a partir das vazões sem efeito das mudanças climáticas. Foi considerada somente a capacidade de regularização das barragens, excluindo, portanto, as demandas, admitindo assim que em situação de restrição da disponibilidade hídrica decorrentes das mudanças climáticas as vazões remanescentes não serão alteradas, de modo a assegurar o atendimento das necessidades do ecossistema. Como discutido anteriormente, este procedimento se baseia no conceito de “caminhos suaves”. Estas vazões são restrições operacionais em todos os cenários simulados.

Consumo humano – Para os reservatórios a montante de Pedra do Cavalo foram utilizadas as demandas calculadas por Medeiros *et al.* (2004). Os valores do per capita total estimados por Medeiros *et al.* (2004) foram definidos em função daqueles valores apresentados nos projetos executivos de cada barragem. Para as sedes municipais, distritos e comunidades foram estimados, em geral, per capita total de 150, entre 100 a 120 e 50 L.hab⁻¹. dia⁻¹, respectivamente.

As demandas humanas no reservatório de Pedra do Cavalo referente aos municípios de Simões Filho, São Francisco do Conde, Candeias e Madre de Deus, Cachoeira, São Félix, Santo Amaro, Conceição do Jacuípe, Amélia Rodrigues, Lauro de Freitas, Cachoeira, São Félix, Santo Amaro e Amélia Rodrigues foram àquelas determinadas pelo estudo de demandas da RMS (SEDUR, 200-). Para Salvador foram utilizadas as projeções de população de SEDUR (200-) e, a partir, destes dados elaborados seis projeções de demanda (item 7.2.1.3.1).

As projeções das demandas do reservatório de Pedra do Cavalo compreendem o período de 2008 a 2030 (SEDUR, 200-), enquanto aquelas dos demais reservatórios compreendem o período de 2002 a 2022 (Medeiros *et al.*, 2004).

Com intuito de realizar a análise do período mais extenso possível, as séries das demandas foram estendidas, a partir da análise de tendência de cada respectiva série disponível, até 2040. Deste modo, foram realizadas análises de tendência das projeções disponíveis para as demandas da bacia do rio Paraguaçu. Estas foram projetadas do seguinte modo:

- Dessedentação animal – séries originalmente compreendidas de 2002 a 2022, sendo as demandas nos reservatórios de Casa Branca, Apertado e Pedra de Cavalo desprezíveis; as de Bandeira de Melo, França e São José do Jacuípe constantes. Assim, somente a demanda referente ao reservatório de Baraúnas foi estendida, sendo utilizada uma análise de tendência (demanda x tempo). Observou-se forte correlação linear (R^2 superior a 0,99);
- Irrigação – estas demandas para o período de 2023 a 2040 foram consideradas constantes em relação ao período de 2012 a 2022, uma vez que estas são as máximas vazões definidas nos respectivos projetos;
- Industrial – foi mantida a demanda do período de 2019 a 2030, pois os aumentos citados por SEDUR (200-) destinam-se à demanda da Refinaria Landulpho Alves (Petrobrás) que vem desenvolvendo, em parceria com a Universidade Federal da Bahia o projeto de Uso Racional da Água, tendo, entre outros objetivos, otimizar o uso da água e minimizar a geração de efluentes líquidos na fábrica. Assim, espera-se, no mínimo que o consumo desta empresa mantenha-se conforme as projeções de SEDUR (200-);
- Demandas humanas – as séries originalmente compreendidas de 2008 a 2030 (reservatório de Pedra do Cavalo) e 2002 a 2022 (demais reservatórios) foram estendidas igualmente às séries de demandas para dessedentação animal. Estas demandas humanas também apresentaram forte correlação linear (estas apresentaram R^2 superior a 0,98).

O resumo das demandas hídricas dos usuários consuntivos da bacia do rio Paraguaçu encontram-se no APÊNDICE A.

Neste trabalho, as demandas no reservatório de Pedra do Cavalo, referente ao sistema de abastecimento de água de Salvador compõem um conjunto de seis projeções, a serem detalhados a seguir.

7.2.1.3.1 Projeções das Demandas do Sistema de Salvador – Incorporando o Controle de Perdas

As demandas do sistema de abastecimento de água de Salvador foram elaboradas a partir da projeção de população utilizada atualmente na elaboração do Plano Municipal de Saneamento. Neste plano, foi utilizada aquela projeção apresentada por SEDUR (200-).

A partir da projeção de população, utilizando a eq. 10, determinou-se a demanda para consumo humano de Salvador.

$$D_{\text{Hum}} = \frac{1,05 \times \text{População} \times \text{Per capita (total)}}{84.600}$$

(10)

Onde:

$$\text{Per capita (total)} = \frac{\text{Consumo per capita}}{1 - \left(\frac{\% \text{ de perdas}}{100} \right)} \quad (11)$$

Fonte: SEDUR(200-)

% percentual de perdas na distribuição.

Para Salvador, SEDUR (200-) estimou o consumo per capita real médio a partir de uma pesquisa realizada 2003 durante revisão e atualização do plano diretor de esgoto, na qual foram determinados os consumos com base nos percentuais de população das classes de renda A, B e C. O valor de 1,05 (eq. 10) correspondente às possíveis perdas de água durante o processo de tratamento (SEDUR, 200-).

O percentual das perdas dos anos posteriores foi calculado por meio da projeção geométrica, definida em função da meta de redução futura. A seguir são apresentadas as expressões matemáticas para determinação da taxa anual de redução de perdas na distribuição.

$$\text{Taxa anual de redução} = \left(\frac{\text{Per capita (total) futuro}}{\text{Per capita (total) atual}} \right)^{\left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right)} \quad (12)$$

$$\text{Per capita (total) futuro} = \frac{\text{Consumo per capita}}{1 - \left(\frac{\% \text{ de perdas meta}}{100} \right)} \quad (13)$$

$$\text{Per capita (total) atual} = \frac{\text{Consumo per capita}}{1 - \left(\frac{\% \text{ de perdas atual}}{100} \right)} \quad (14)$$

Onde, $t_2 - t_1$ = anos de projeção, ou seja, tempofinal e tempoinicial

Assim, as projeções de demanda do sistema de abastecimento de água de Salvador foram calculadas variando ora o per capita real, ora a meta para 2030 de redução de perdas na distribuição do sistema. Como dito anteriormente, o reservatório de Pedra do Cavalo abastece cerca de 60% da demanda de Salvador.

7.2.1.4 Definição das Prioridades

A possibilidade de determinação de prioridades é um recurso disponível no AquaNet, sendo aquele de maior sensibilidade ao modelo, uma vez que sua variação tende a fornecer resultados completamente diferentes para uma mesma topologia (ANDRADE, 2006). Deste modo, a definição das prioridades pressupõe critérios bem definidos, não sendo o valor absoluto de cada prioridade importante, mas sim seu valor relativo em comparação aos demais elementos.

Em relação às prioridades das demandas se buscou atender a legislação de Recursos Hídricos (Lei 9.433/07). Assim, a prioridade máxima definida foi para atender as vazões remanescentes, em acordo com os critérios de outorga em vigência. Os usos para consumo humano e dessedentação animal terão prioridades iguais, porém inferiores à das vazões remanescentes. Por outro lado, as vazões para irrigação e para o setor industrial terão prioridades iguais, contudo inferiores àquela para consumo humano. A geração de energia elétrica terá prioridade inferior ao da irrigação.

Para os reservatórios a montante de Pedra do Cavalo, o volume meta foi o volume máximo, uma vez que nestes inexitem regras operacionais, pois os

mesmos foram concebidos basicamente para suprir as deficiências do atendimento em períodos de escassez hídrica (FARIA, 2003). Entretanto, a prioridade do volume meta destes reservatórios foram inferiores às demandas existentes para estes reservatórios: consumo humano, dessedentação animal e irrigação. Deste modo, o volume de água armazenado em cada reservatório será disponibilizado para atendimento das demandas até o limite mínimo (volume mínimo) e, isto ocorrendo, não haverá disponibilidade de água para as demandas.

Em 2005 entrou em operação no reservatório de Pedra do Cavalo uma Usina Hidrelétrica. Como este uso é conflitante com os demais, há neste reservatório regras operacionais específicas, visando orientar a utilização das águas. Entre estas, a cota mínima (113 m), para o nível de água no reservatório, a partir da qual é permitida a geração de energia elétrica. Para este reservatório a cota-meta estabelecida neste trabalho foi igual à cota mínima para geração de energia (113 m). Todavia, a prioridade do volume-meta é superior à demanda para geração de energia elétrica e inferior às demais prioritárias: vazões remanescentes, consumo humano e dessedentação animal. A Tabela 4 apresenta as prioridades estabelecidas no presente trabalho.

Tabela 4: Esquema de prioridades

Elementos	Prioridade estabelecida no AcquaNet *
Vazões remanescentes	15
Consumo humano	30
Dessedentação animal	30
Irrigação	60
Indústria	60
Volume meta	90
Geração de energia	99

*Valores definidos no AquaNet. Quanto menor o valor, maior será a prioridade.

7.3 Avaliação da Capacidade de Regularização do Sistema

A avaliação da capacidade de regularização do sistema de reservatórios da bacia do rio Paraguaçu foi executada por meio de simulações usando o AcquaNet para as vazões simuladas com e sem efeito das mudanças climáticas (7.1 Obtenção das Séries de Dados). Nestas simulações, buscou-se

identificar a demanda máxima que cada reservatório atenderia com 90% de garantia. A prioridade no atendimento desta demanda foi inferior ao do volume meta, que por sua vez, foi superior a demanda de jusante. As séries de vazões afluentes utilizadas nestas simulações foram aquelas sem intervenções na bacia, isto é, simulando as condições naturais, pré-implantação das barragens. Portanto, para os reservatórios de Bandeira de Melo, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo foram desconsiderados as regularizações dos reservatórios de montante.

7.4 Simulação do sistema – Modelo de Rede de Fluxo

7.4.1 Período de Simulação

O período de simulação dos cenários foi determinado tendo como limitação as projeções existentes para as demandas hídricas da bacia do rio Paraguaçu. Esta limitação decorre das incertezas metodológicas para projeção de população no horizonte de longo prazo e aquelas associadas aos processos migratórios que poderão ocorrer em função das mudanças climáticas ou outras condições sócio-econômicas.

Assim, o período de análise de desempenho do reservatório de Pedra do Cavalo para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento de Salvador, considerando as intervenções humanas na bacia e possíveis mudanças climáticas, definido para este estudo como de 2012 a 2040.

7.4.2 Definição de Critérios e Elaboração dos Cenários

Os cenários deste trabalho foram elaborados com base em dois critérios iniciais: disponibilidade hídrica do reservatório de Pedra do Cavalo e demandas do sistema de abastecimento de água de Salvador.

Em relação à disponibilidade hídrica foram adotados dois critérios, sendo o primeiro baseado na estacionariedade das séries hidrológicas hidroclimáticas. Neste, utilizou-se as vazões obtidas por meio do MGB-IPH a partir dos dados do clima presente simulados pelo modelo ETA. O segundo partiu da premissa

que as alterações climáticas impactarão na disponibilidade hídrica, e assim foi utilizado o cenário A1B de clima futuro numa combinação do modelo atmosférico com o modelo hidrológico. Desta forma, haverá neste estudo duas projeções de disponibilidade hídrica.

Quanto aos critérios de demanda, tem-se:

- Consumo per capita:
 - Aquele definido inicialmente no planejamento do sistema de abastecimento de água de Salvador ($170,90 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$). Esta é a projeção de demanda definida em “Estudos de Aproveitamento dos Mananciais da RMS – Estudo de Demandas” (SEDUR, 200-);
 - Aproximadamente a média do consumo per capita obtido na série histórica (2001-2008) do SNIS ($150,0 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), sendo este valor próximo ao atualmente utilizado no planejamento ($146 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) (SETIN, 2010).
- Meta de perdas de água na distribuição do sistema de Salvador em 2030:
 - 35%, ou seja, uma taxa geométrica de 0,85% ao ano, (SEDUR, 200-);
 - 30%, indicador próximo da média daqueles encontrados atualmente nas cidades de Brasília e Goiana, ou seja, uma taxa geométrica de 1,20% ao ano;
 - 25%, valor atribuído como nível de perdas de água desejável (Ministério das Cidades, 2011), ou seja, uma taxa geométrica de 1,81% ao ano.

O percentual de perdas mínimo estabelecido entre o período de 2030 a 2040 foi de 20%. Assim, nesse trabalho foram elaboradas 2 (duas) projeções de disponibilidade e 6 (seis) de demanda, totalizando assim 12 (doze) cenários (Quadro 11).

Quadro 11: Cenários considerados para avaliação das demandas de água para a bacia do rio Paraguaçu

Projeções de disponibilidade	Horizonte temporal	Projeções de demanda		Cenários
		Consumo per capita real	Perdas	
Sem efeitos das mudanças climáticas	2012 - 2040	170,9	35%	S11
			30%	S12
			25%	S13
		150	35%	S21
			30%	S22
			25%	S23
Sob efeitos das mudanças climáticas	2012 - 2040	170,9	35%	C11
			30%	C12
			25%	C13
		150	35%	C21
			30%	C22
			25%	C23

Observação: o primeiro dígito da nomenclatura dos cenários faz referência aos cenários de disponibilidade (C – disponibilidade sob efeitos das mudanças climáticas; S – disponibilidade sem efeitos das mudanças climáticas), enquanto o segundo dígito refere-se à origem do per capita real usado (1 – per capita de 170,9 L.hab⁻¹.dia⁻¹ e 2 – per capita de 150 L.hab⁻¹.dia⁻¹) e o último dígito refere-se à meta para 2030 do percentual de perdas na distribuição da rede de abastecimento (1- 35%; 2 – 30% e 3 – 25%).

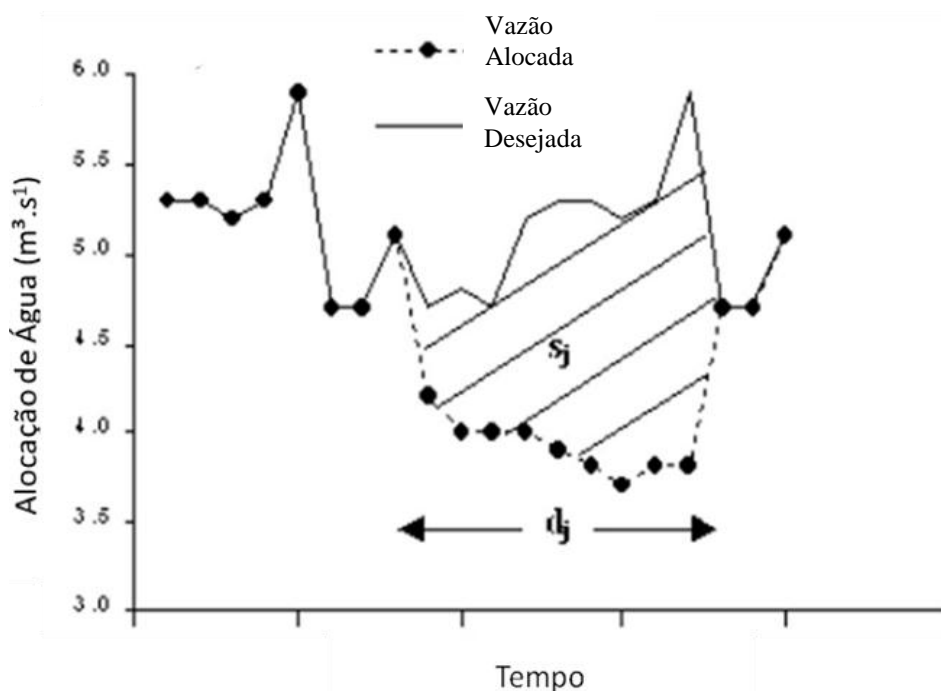
7.4.3 Avaliação dos Resultados

Para compreender e avaliar a disponibilidade do reservatório de Pedra do Cavalo para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento de Salvador foram adotados índices baseados em probabilidade: confiabilidade (freqüência de falhas no atendimento das demandas), elasticidade (capacidade de superação de falhas), vulnerabilidade (conseqüência decorrentes de falhas) e sustentabilidade (LOUCKS, 1997; HASHIMOTO *et al.*, 1982).

Tais indicadores foram selecionados por permitirem medir o desempenho, especialmente em períodos críticos, e, portanto, a severidade do desempenho insatisfatório de determinado sistema hídrico (ANDRADE, 2006). Isto possibilita sua utilização no planejamento de sistemas de recursos hídricos e especialmente em cenários de redução da disponibilidade hídrica decorrente das alterações climáticas.

Esses indicadores, conforme Kjeldsen e Rosbjerg (2001), são determinados utilizando a série temporal X_t , $t = 1, \dots, NT$, e um valor limite X_0 especificado, o

qual representa o limite entre os valores considerados satisfatórios daqueles considerados insatisfatórios para a variável em consideração. Assim, haverá falha quando $X_t < X_0$. Seja NF o número de intervalos de tempo (hora, dia, mês, etc.) no qual $X_t < X_0$ e sejam d_j e s_j , respectivamente, a duração e o volume de déficit da j -ésimo evento de falhas, com $j = 1, \dots, M$, onde M é o número de eventos insatisfatórios (Figura 11).



Fonte: adaptado de Kjeldsen e Rosbjerg (2001)

Figura 11: Duração e volumes de déficit em período de falhas

O índice de confiabilidade (*Conf*) é definido como sendo a probabilidade de obtenção de sucesso e, no caso de sistema de recursos hídricos, este índice traduz o êxito no atendimento às demandas previstas. Portanto, este é função das demandas, dos afluxos ao sistema, das capacidades dos diversos reservatórios e da política de operação (VIANNA JUNIOR, 2007). Assim, valores de *Conf* mais próximos a 1 implicam que melhor será a confiabilidade do cenário. Este indicador é expresso abaixo (eq. 16):

$$Conf = \Pr \{X_t \leq X_0\} = 1 - \frac{NF}{NT} \quad (15)$$

Logo, a confiabilidade é o complemento da razão entre o número de valores insatisfatórios pelo número total de períodos de tempo simulado.

A elasticidade ou resiliência traduz-se em capacidade de recuperação, ou seja, quão rápido o sistema retorna a atender as demandas, ou ainda a probabilidade de haver um estado satisfatório no período $t+1$ dado um valor insatisfatório no período t . Assim, quanto maior for este índice, menor o período de déficit, o que implica em maior capacidade do sistema em recuperar-se (maior elasticidade do sistema). Portanto, um sistema pouco resiliente é aquele que apresenta eventos prolongados de falhas, com recuperação lenta (ANDRADE, 2006). Este indicador é expresso pela eq. 17.

$$\text{Res} = \left[\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d_j \right]^{-1} \quad (16)$$

Onde d_j é a duração do déficit no evento de falha - número de meses com falha.

Deste modo, a resiliência é a razão entre o número de vezes que um valor satisfatório segue um insatisfatório e o número de vezes que os valores insatisfatórios ocorrem (M).

O indicador de vulnerabilidade mede a importância da severidade das consequências das falhas do sistema, portanto, a magnitude da falha, uma vez que a situação inaceitável foi encontrada (VIANNA JUNIOR, 2007). Faria (2003) comenta a existência de diversas definições de vulnerabilidade como indicador do desempenho de sistema. Neste trabalho, este indicador foi determinado a partir da equação 18.

$$\text{Vul} = \frac{\sum_{j=1}^M S_j}{\sum_{j=1}^N D_j} \cdot 100 \quad (17)$$

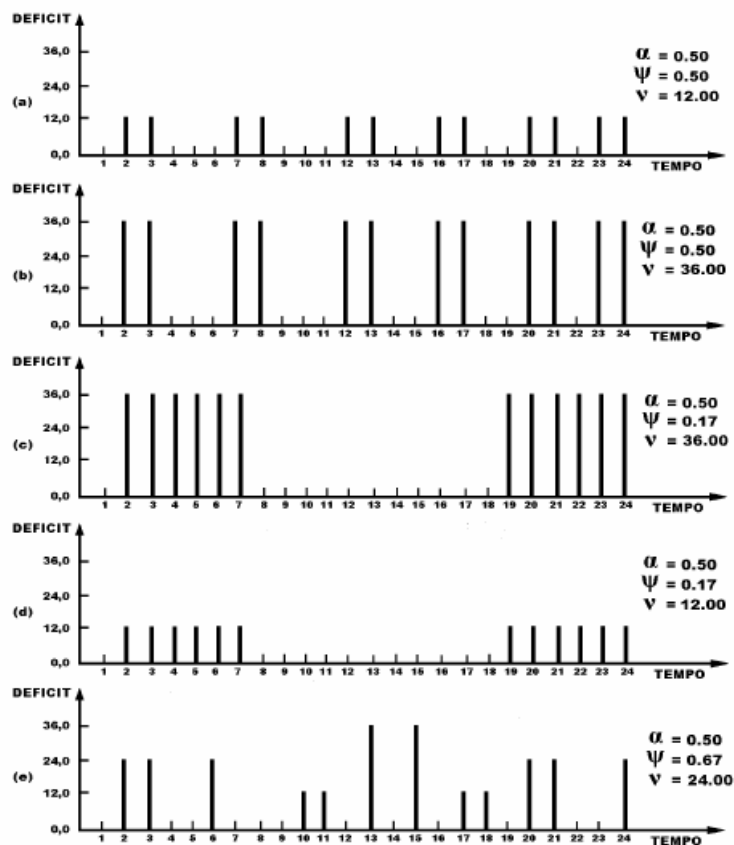
Onde:

S_j é o volume total deficitário de determinado usuário no período de análise.

D_j é a volume total demandado por determinado usuário no período de análise.

Um sistema pode ser muito resiliente, mas bastante vulnerável, enquanto que outro sistema pode ser pouco resiliente, no entanto, pouco vulnerável.

Amissial e Barrios (1986) *apud* Vianna Junior (2007) comentam que a melhora de um dos índices pode causar a piora nos demais e que mesmo para valores fixos para um deles, os demais podem assumir valores bem diferentes, sendo as melhores situações aquelas em que ocorra uma maior confiabilidade ou elasticidade ou ainda menor vulnerabilidade (Figura 12).



Fonte: Vianna Junior (2007) adaptado de Amissial e Barrios (1986)
Figura 12: Comportamento dos índices de desempenho

Loucks (1997) propôs um índice de sustentabilidade geral (eq. 19), compostos pelos três indicadores anteriormente citados.

$$\text{Sustentabilidade} = \text{Conf} \times \text{Res} \times (1 - \text{Vul}) \quad (18)$$

As análises dos cenários por meio desses índices foram realizadas de modo global – período de 2011 a 2040 – e por década (2011-2021; 2021-2031 e 2031-2041), considerando o ano hidrológico (outubro a setembro). Esta análise por década foi realizada para avaliar a dependência dos resultados dos índices em relação à particularidade das séries de vazões afluentes utilizadas. Os resultados dos índices foram então classificados, conforme Quadro 12.

Quadro 12: Classificação dos índices de performance

Faixa dos resultados dos índices de performance	Classificação
Alto	75 < valores do índice ≤ 100
Médio alto	50 < valores do índice ≤ 75
Médio baixo	25 < valores do índice ≤ 50
Baixos	Valores do índice ≤ 25

8 RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados da presente pesquisa. Iniciou-se com a avaliação das alterações na disponibilidade hídrica, dada pelas análises das vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu e das taxas de evaporação diante dos cenários de ocorrência e não-ocorrência de mudanças climáticas. Em seguida foi realizada a avaliação da capacidade de regularização do sistema de reservatórios da bacia do rio Paraguaçu para projeção de disponibilidade hídrica sem efeitos das mudanças climáticas. Posteriormente, avaliou-se as projeções das demandas futuras do sistema de abastecimento de água de Salvador e, por fim, a avaliação dos cenários propostos, portanto, da disponibilidade de água do reservatório de Pedra do Cavalo para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento de Salvador, considerando os usos das águas na bacia e possíveis mudanças climáticas.

8.1 Alterações na Disponibilidade

8.1.1 Avaliação das Vazões Afluentes

As figuras 13 e 14 apresentam as séries de vazões utilizadas para avaliar os cenários propostos nesta dissertação. Estas séries correspondem às vazões médias mensais afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu sem e sob efeito das mudanças climáticas.

Observou-se, em geral, impactos das mudanças climáticas sobre as vazões afluentes em todos os reservatórios da bacia do rio Paraguaçu para o cenário A1B para o período de 2011-2040, com reduções menos intensas naquelas afluentes aos reservatórios do rio Jacuípe (barragens França e São José do Jacuípe).

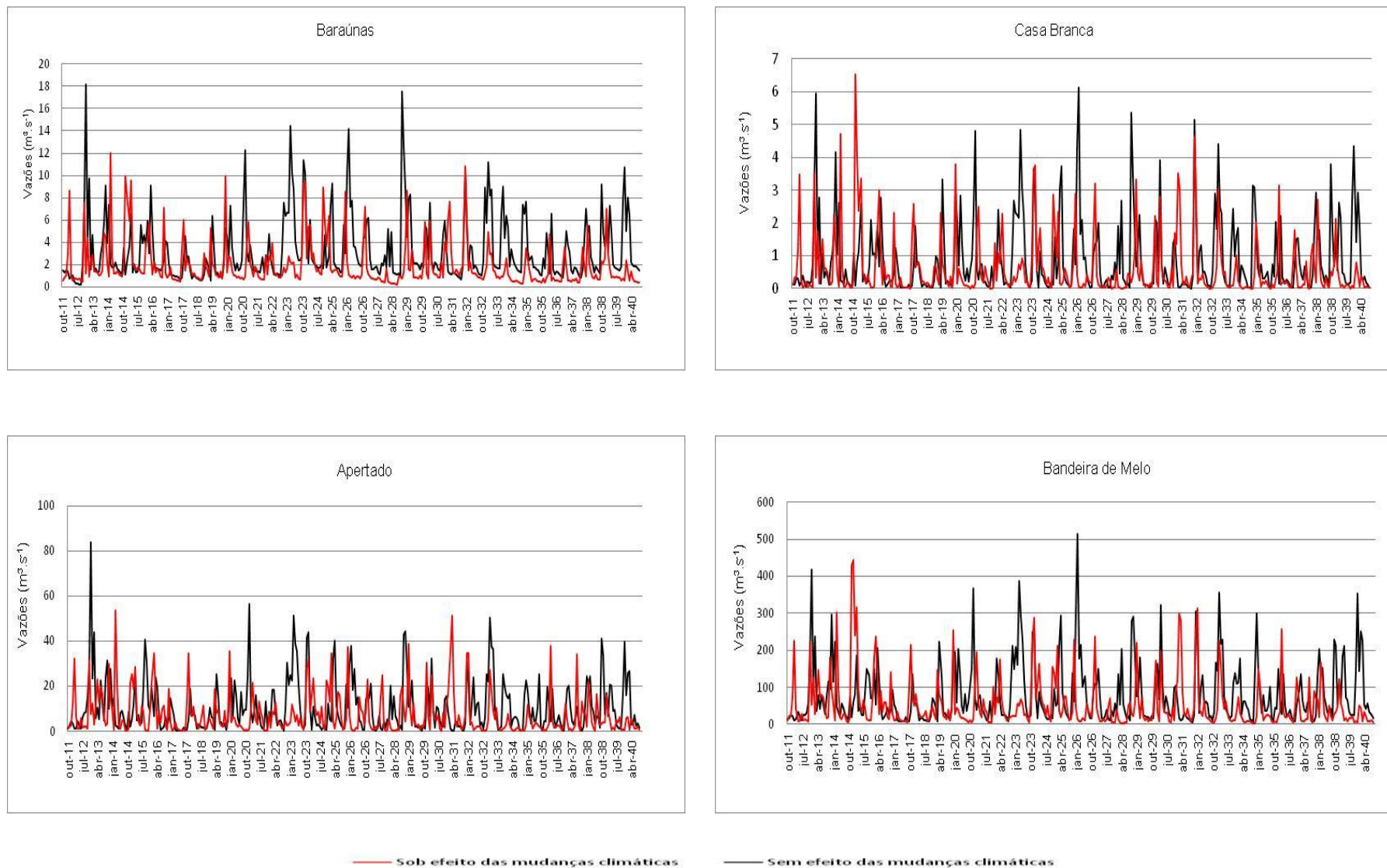


Figura 13: Vazões mensais afluentes aos reservatórios de Baraúnas, Casa Branca, Apertado e Bandeira de Melo

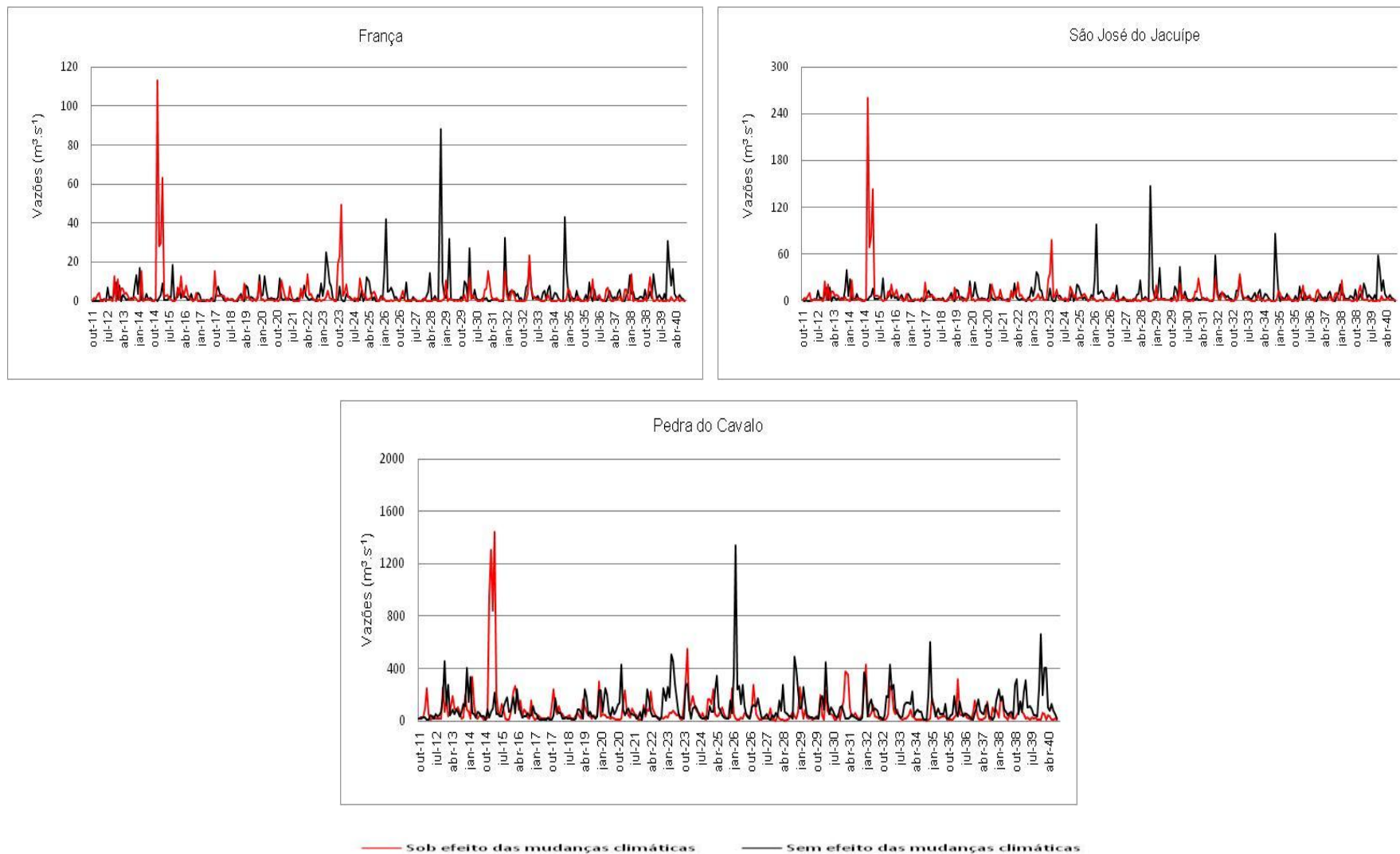


Figura 14: Vazões mensais afluentes aos reservatórios de França, São José do Jacuíce e Pedra do Cavallo

Embora apresentados juntos, tais conjuntos de séries de vazões afluentes, sem e sob efeitos das mudanças climáticas, não são comparáveis, uma vez que o primeiro conjunto são as vazões afluentes simuladas de 1961 a 1990, enquanto os conjuntos das séries sob efeitos das mudanças climáticas foram simulados a partir das perturbações dos dados climáticos para o período de 2011 a 2040 decorrentes das emissões de gases de efeito estufa (perturbações referentes ao cenário A1B do IPCC).

Os valores médios das vazões afluentes mensais aos locais onde se posicionam (ou posicionarão) as barragens na bacia do rio Paraguaçu estão apresentados na Figura 15.

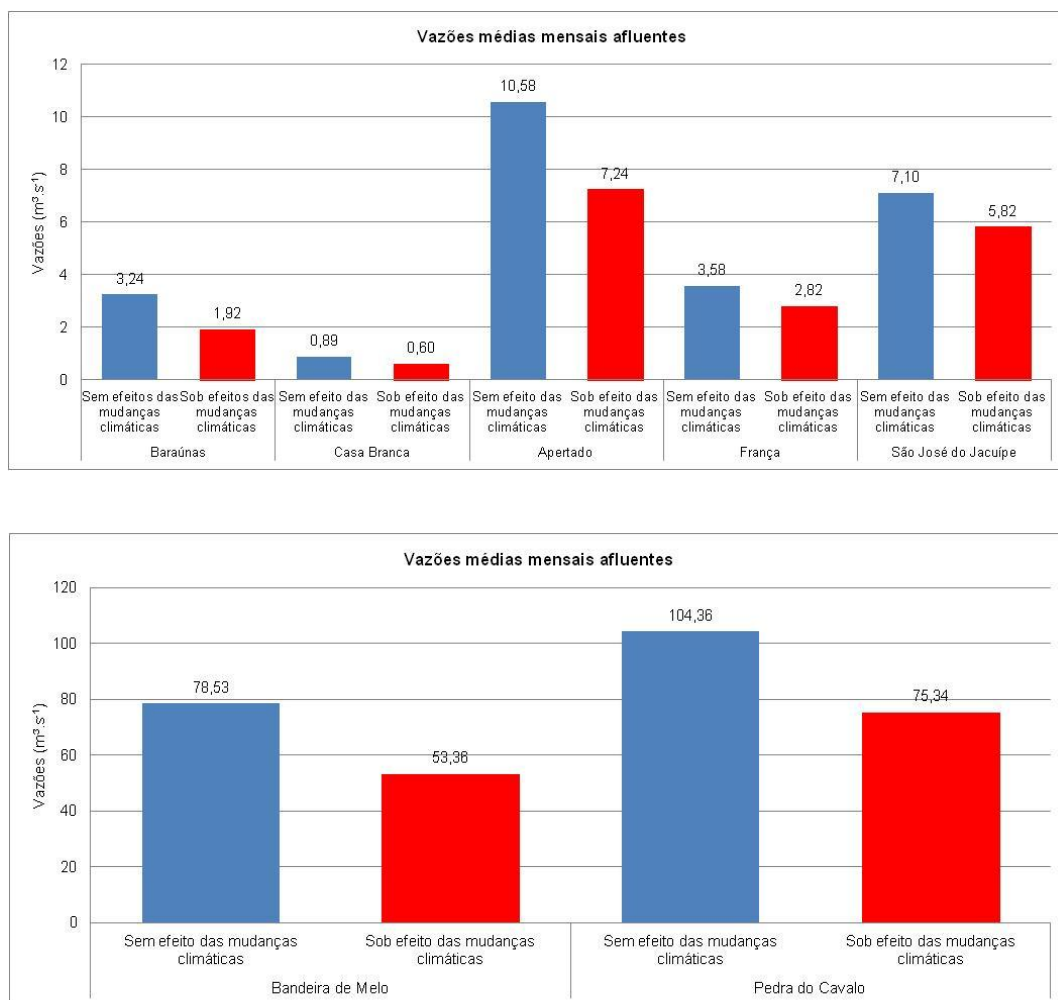


Figura 15: Efeito das mudanças do clima nas vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, cenário A1B – 2011-2040

As reduções relativas mais significativas foram referentes aos reservatórios mais próximos às nascentes (Baraúnas, Casa Branca, Apertado e Bandeira de

Melo), cujas vazões médias mensais reduziram de 3,24 para 1,92 m³.s⁻¹, de 0,89 para 0,60 m³.s⁻¹, de 10,58 para 7,24 m³.s⁻¹ e 78,53 para 53,36 m³.s⁻¹, respectivamente, o que representam reduções superiores a 32% em curto prazo. As vazões médias afluentes aos reservatórios de França e São José do Jacuípe reduziram cerca de 21 e 18%, enquanto as de Pedra do Cavalo de 104,36 m³.s⁻¹ para 75,34 m³.s⁻¹, portanto de 28%. Estes resultados corroboram com aqueles encontrados por GENZ *et al.* (2011) e apontam para a diminuição da disponibilidade hídrica estimado pelo IPCC (2007a).

Analisando o desvio padrão (Tabela 5) das vazões médias mensais afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu referente às duas projeções de disponibilidade hídrica, observou-se que apenas aquelas de França e São José apresentaram valores maiores para a projeção sob efeitos das mudanças climáticas. Contudo, ao avaliar os coeficientes de variação das vazões médias mensais, para todos os reservatórios, os resultados das projeções sob efeitos das mudanças climáticas apresentaram resultados superiores, portanto, nesta projeção os valores destas vazões médias mensais variaram em uma proporção superior àquelas sem efeito das mudanças climáticas.

Tabela 5: Desvio padrão e coeficiente de variação das vazões médias mensais afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu

Reservatórios	Projeção de disponibilidade hídrica	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Baraúnas	Sem efeitos das mudanças climáticas	2,85	88%
	Sob efeitos das mudanças climáticas	2,02	105%
Casa Branca	Sem efeitos das mudanças climáticas	1,13	127%
	Sob efeitos das mudanças climáticas	0,95	157%
Apertado	Sem efeitos das mudanças climáticas	11,53	109%
	Sob efeitos das mudanças climáticas	9,16	126%
Bandeira de Melo	Sem efeitos das mudanças climáticas	82,37	105%
	Sob efeitos das mudanças climáticas	69,78	131%
França	Sem efeitos das mudanças climáticas	7,29	204%
	Sob efeitos das mudanças climáticas	8,30	295%
São José do Jacuípe	Sem efeitos das mudanças climáticas	13,12	185%
	Sob efeitos das mudanças climáticas	18,04	310%
Pedra do Cavalo	Sem efeitos das mudanças climáticas	140,17	120%
	Sob efeitos das mudanças climáticas	125,20	186%

Analisando os impactos sobre as vazões afluentes ao reservatório de Pedra do Cavalo por década (Figura 16), observa-se que enquanto a série de vazões sem efeito das mudanças climáticas apresenta-se crescente entre a 1^a e 2^a

década e praticamente constante entre a 2ª e 3ª década, na série sob efeitos das mudanças climáticas esta tendência é sempre decrescente. Comparando os resultados década a década entre as duas séries de vazões, observa-se, para o período de 2011 a 2021 que as mudanças climáticas promoveriam um aumento das vazões afluentes em 26%; enquanto entre 2021 e 2031 uma redução de 41% e entre 2031 a 2040 uma redução de 60%.

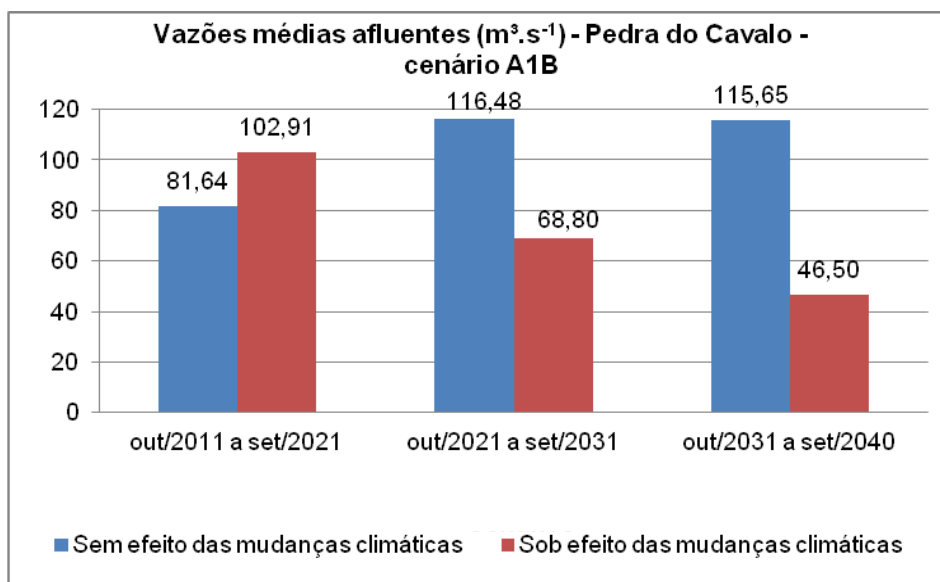


Figura 16: Efeitos das mudanças climáticas sob as vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, cenário A1B, período de 2011 – 2040

Na Figura 17 são apresentadas as vazões máximas e mínimas afluentes ao reservatório de Pedra do Cavallo.

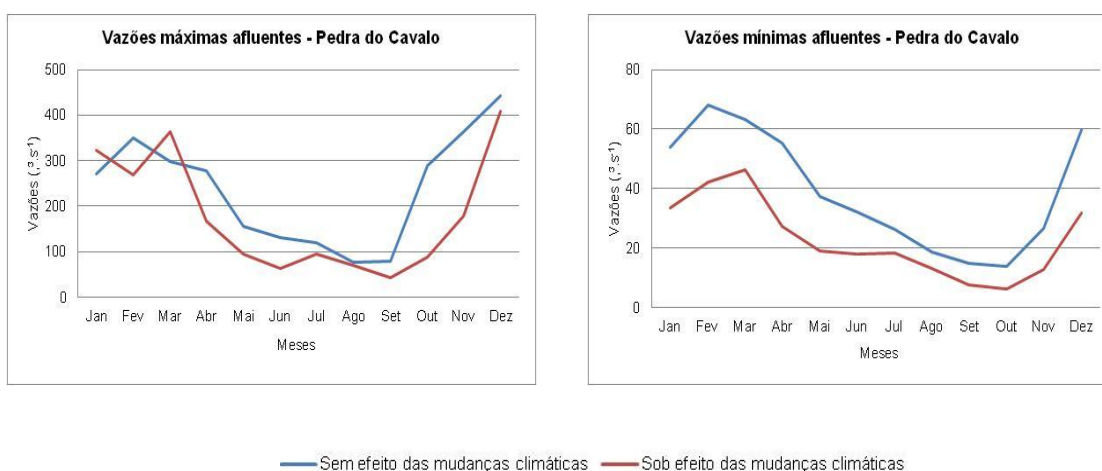


Figura 17: Média das vazões máximas e mínimas mensais afluentes ao reservatório de Pedra do Cavallo

Observou-se reduções das máximas, principalmente nos meses de abril a novembro e das mínimas em todos os meses, o que agravará a disponibilidade no período de seca. O aumento da severidade do período de estiagem poderá ser um risco não somente aos usos para abastecimento e irrigação como também aos condicionantes que dão sustentabilidade à fauna e flora (TUCCI, 2002).

A análise da distribuição de frequência das vazões por meio das curvas de permanência é utilizada como referência na legislação de recursos hídricos, sendo um critério para definição das vazões outorgáveis quando da inexistência de barramento. Por exemplo, no Estado da Bahia, quando não houver barramento, o somatório das vazões outorgadas não devem ultrapassar 80% da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de até 90% (Q_{90}) de permanência a nível diário. As vazões Q_{90} determinadas a nível mensal da bacia do rio Paraguaçu são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Vazões de referência (Q_{90} em nível mensal) sem e sob efeito das mudanças climáticas

Local	Sem efeitos das mudanças climáticas	Sob efeitos das mudanças climáticas
	Q_{90} ($m^3.s^{-1}$)	
Baraúnas	1,05	0,55
Casa Branca	0,05	0,02
Apertado	1,00	0,48
Bandeira de Melo	13,28	7,11
França	0,12	0,04
São José do Jacuípe	0,38	0,20
Pedra do Cavalo	17,58	9,87

Em geral, houve uma redução severa das vazões mínimas (Q_{90}) afluentes a todos os reservatórios da bacia do rio Paraguaçu. Observa-se que as vazões médias mensais afluentes ao reservatório de Pedra do Cavalo sem ($17,58 m^3.s^{-1}$) e sob ($9,87 m^3.s^{-1}$) efeitos das mudanças climáticas são igualadas ou superadas em 90% (Q_{90}) do tempo. Portanto, uma redução da Q_{90} a nível mensal de 44%.

8.1.2 Avaliação das Taxas de Evaporação

Como dito anteriormente, um dos dados de entrada do modelo de rede de fluxo utilizado nesta pesquisa – AcquaNet – são as taxas de evaporação dos reservatórios. Estas foram determinadas por meio das equações apresentadas no item 7.2.1.2. Nos casos dos rios localizados em regiões com altas taxas de evaporação, exemplo do sertão do Nordeste brasileiro e, portanto do rio Paraguaçu, a redução da disponibilidade associada ao aumento da temperatura e da taxa de evaporação, implicarão em aumento das concentrações de sais dissolvidos. Para remoção destes sais, os sistemas convencionais de tratamento de água serão ineficientes. Além disso, soma-se a precariedade da disposição dos esgotos da maioria das cidades desta região. Permanecendo tal realidade espera-se ainda um aumento das concentrações de coliformes termotolerantes nestas águas. Portanto, as consequências não se restringiriam à disponibilidade quantitativa, mas também quanto aos aspectos qualitativos das águas.

A Tabela 7 apresenta as taxas de evaporação mensais médias calculadas com as equações apresentadas no item 7.2.1.2 - Evaporação nos Reservatórios – sem e sob efeito das mudanças climáticas para os reservatórios da bacia do rio Paraguaçu. Na Tabela 8 são apresentadas os valores das médias das variáveis do clima que definem a evaporação – temperatura, umidade relativa do ar, insolação e velocidades dos ventos – dos cenários sem e sob efeitos das mudanças climáticas referentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu.

Tabela 7: Evaporação média mensal sem e sob efeito das mudanças climáticas (cenário A1B) nos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu

Casa Branca (m.mês⁻¹)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sem efeito das mudanças climáticas	0,180	0,153	0,135	0,097	0,056	0,057	0,065	0,095	0,111	0,143	0,156	0,175	1,432
Sob efeito das mudanças climáticas	0,184	0,156	0,138	0,100	0,058	0,059	0,067	0,098	0,114	0,147	0,160	0,179	1,460
Baraúnas (m.mês⁻¹)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sem efeito das mudanças climáticas	0,180	0,153	0,135	0,097	0,056	0,057	0,065	0,095	0,111	0,143	0,156	0,175	1,432
Sob efeito das mudanças climáticas	0,184	0,156	0,138	0,100	0,058	0,059	0,067	0,098	0,114	0,147	0,160	0,179	1,460
Apertado (m.mês⁻¹)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sem efeito das mudanças climáticas	0,180	0,153	0,135	0,097	0,056	0,057	0,065	0,095	0,111	0,143	0,156	0,175	1,432
Sob efeito das mudanças climáticas	0,184	0,156	0,138	0,100	0,058	0,059	0,067	0,098	0,114	0,147	0,160	0,179	1,460
Bandeira de Melo (m.mês⁻¹)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sem efeito das mudanças climáticas	0,161	0,134	0,123	0,086	0,065	0,052	0,059	0,081	0,096	0,134	0,149	0,165	1,305
Sob efeito das mudanças climáticas	0,164	0,137	0,126	0,088	0,067	0,054	0,061	0,084	0,099	0,138	0,152	0,168	1,338
França (m.mês⁻¹)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sem efeito das mudanças climáticas	0,171	0,138	0,126	0,091	0,053	0,052	0,062	0,091	0,108	0,146	0,156	0,177	1,371
Sob efeito das mudanças climáticas	0,150	0,160	0,181	0,174	0,140	0,128	0,094	0,055	0,054	0,064	0,094	0,111	1,404
São José do Jacuípe (m.mês⁻¹)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sem efeito das mudanças climáticas	0,197	0,163	0,153	0,109	0,084	0,067	0,077	0,107	0,128	0,174	0,187	0,206	1,652
Sob efeito das mudanças climáticas	0,202	0,167	0,156	0,113	0,087	0,069	0,080	0,111	0,132	0,180	0,193	0,211	1,701
Pedra do Cavalo (m.mês⁻¹)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sem efeito das mudanças climáticas	0,207	0,160	0,155	0,111	0,080	0,063	0,075	0,099	0,118	0,176	0,189	0,205	1,638
Sob efeito das mudanças climáticas	0,212	0,163	0,158	0,114	0,083	0,066	0,078	0,103	0,122	0,182	0,194	0,209	1,684

Tabela 8: Médias das variáveis que definem a evaporação

Reservatórios	Precipitação (mm/mês)		Temperatura (°C)		Umidade Relativa do ar (%)		Velocidade dos ventos (Km/dia)	
	Sem efeitos das mudanças climáticas	Sob efeitos das mudanças climáticas	Sem efeitos das mudanças climáticas	Sob efeitos das mudanças climáticas	Sem efeitos das mudanças climáticas	Sob efeitos das mudanças climáticas	Sem efeitos das mudanças climáticas	Sob efeitos das mudanças climáticas
Baraúnas - Casa Branca - Apertado	113,46	88,15	23,44	24,80	76,81	74,41	0,01	0,01
Bandeira de Melo	63,56	50,64	24,56	25,88	70,92	68,68	0,02	0,02
França	62,42	50,15	19,69	20,93	78,48	76,99	0,04	0,04
São José do Jacuípe	70,09	56,21	23,97	25,34	71,58	68,33	0,03	0,04
Pedra do Cavalo	61,16	47,28	23,70	25,04	78,22	75,44	0,03	0,03

Em geral, houve um aumento de cerca de 3% das taxas de evaporação nos lagos dos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu o que poderá vir piorar a qualidade das águas destes em relação à concentração de sais bem como ocasionar uma maior quantidade de perda de água. Quanto aos impactos das mudanças climáticas em relação às variáveis que definem estas taxas foram observadas uma redução média da precipitação e da umidade relativa do ar de cerca de 21% e 3%, respectivamente, e um aumento de temperatura do ar e da velocidade dos ventos de aproximadamente de 6% e 8%, respectivamente.

8.2 Capacidade de Regularização do Sistema

A solução encontrada para minimizar a variabilidade temporal das vazões da bacia do rio Paraguaçu foi o armazenamento por meio de reservatórios, cujo objetivo é redistribuir espacial e temporalmente as águas, ou seja, acumulá-las nos períodos chuvosos para serem utilizadas nos períodos de estiagem. Estas estruturas, portanto, atuam como regularizadoras das vazões.

Como descrito no item 7.3 – Avaliação da Capacidade de Regularização do Sistema – esta etapa foi realizada por meio de simulações com intuito de determinar as vazões possíveis de serem atendidas por cada um dos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu com 90% de garantia, desconsideradas as regularizações pelos reservatórios de montante quando da simulação dos reservatórios de Bandeira de Melo, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo. Foi realizado deste modo, pois a legislação não faz menção sobre as vazões outorgáveis quando da existência de reservatórios em cascata, como é o caso da bacia do rio Paraguaçu. Na Tabela 9 são apresentadas as vazões médias mensais regularizadas, sem efeitos das mudanças climáticas, associadas às respectivas garantias.

Tabela 9: Vazões médias mensais regularizadas, sem efeitos das mudanças climáticas, associadas às garantias – 1961-1990

Garantias	Vazões regularizadas (m ³ .s ⁻¹)						
	Casa Branca	Baraúnas	Apertado	Bandeira de Melo	França	São José do Jacuípe	Pedra do Cavalo
10%	2,91	8,11	26,45	170,40	10,75	26,78	313,08
20%	2,32	6,52	21,16	117,79	7,34	17,85	229,59
30%	1,88	5,29	16,93	84,81	5,23	14,08	187,85
40%	1,55	4,57	13,23	67,53	4,30	11,47	161,76
50%	1,36	3,92	10,90	54,97	3,58	9,61	140,89
60%	1,19	3,44	8,99	47,12	3,01	8,63	125,76
70%	1,04	3,08	7,41	37,69	2,65	7,69	111,67
80%	0,92	2,66	5,92	30,23	2,22	6,93	100,19
90%	0,79	2,33	4,13	23,56	1,79	6,08	86,62
100%	0,45	1,21	1,59	11,78	0,39	3,43	54,27

Com base nos valores encontrados nas simulações anteriores, foram determinadas as vazões remanescentes aos reservatórios (Tabela 10). Para aqueles localizados no rio Jacuípe (França e São José do Jacuípe) as vazões remanescentes foram 5% das vazões regularizadas com 90% de garantia, enquanto para os demais reservatórios foi de 20% das mesmas, seguindo o critério de outorga vigente (Instrução Normativa nº. 01/2007 do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia).

Tabela 10: Vazões remanescentes – 1961-1990

Reservatórios	Vazões remanescentes (m ³ .s ⁻¹)
Casa Branca	0,16
Baraúnas	0,47
Apertado	0,83
Bandeira de Melo	4,71
França	0,09
São José do Jacuípe	0,30
Pedra do Cavalo	17,32

Essas vazões remanescentes foram utilizadas nas simulações de todos os cenários considerados neste trabalho, embora a vazão efluente ao reservatório de Pedra do Cavalo atualmente praticada seja 10 m³.s⁻¹.

Diante da redução das vazões afluentes aos reservatórios da bacia em estudo decorrente dos efeitos das mudanças climáticas é provável haver uma redução também da capacidade de regularização destes sistemas.

8.3 Projeções das Demandas de Salvador

A redução esperada da disponibilidade hídrica do principal manancial de abastecimento de água de Salvador (rio Paraguaçu) decorrente das mudanças climáticas e a projeção de aumento de demanda, leva à necessidade de se pensar em alternativas de minimização do consumo. Assim, conforme descritos na metodologia foram construídas seis projeções de demandas do sistema de abastecimento de água de Salvador. O primeiro dígito da nomenclatura das projeções de demanda refere-se ao consumo per capita adotado (1 – 170,9 L.hab⁻¹.dia⁻¹ e 2 - 150 L.hab⁻¹.dia⁻¹), enquanto o segundo dígito faz referência à

meta para 2030 de perda na distribuição de água do sistema de Salvador (1 – 35%; 2 – 30% e 3 – 25%). Portanto, as projeções de demanda são:

- 11 – Consumo per capita real de $170,9 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e meta de perdas na distribuição de 35% em 2030. Esta é a projeção de demanda é aquela definida em “Estudos de Aproveitamento dos Mananciais da RMS – Estudo de Demandas” (SEDUR, 200-);
- 12 – Consumo per capita real de $170,9 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e meta de perdas na distribuição de 30% em 2030;
- 13 – Consumo per capita real de $170,9 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e meta de perdas na distribuição de 25% em 2030;
- 21 – Consumo per capita real de $150 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e meta de perdas na distribuição de 35% em 2030, sendo este próximo ao atualmente utilizado no planejamento ($146 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), (SETIN, 2010);
- 22 – Consumo per capita real de $150 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e meta de perdas na distribuição de 30% em 2030;
- 23 – Consumo per capita real de $150 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e meta de perdas na distribuição de 25% em 2030.

Os resultados das projeções da demanda do sistema de abastecimento de água de Salvador elaborados por meio da variação do consumo per capita real e de diferentes taxas anuais de redução de perdas na distribuição são apresentados na Figura 18. Observa-se diferença entre as séries de demandas projetadas para o abastecimento de água de Salvador em função dos valores utilizados de consumo per capita da SEDUR (200-) e daqueles da série histórica do SNIS. Esta disparidade origina-se basicamente dos seguintes fatores: metodologias utilizadas (SEDUR parte de uma pesquisa por amostragem, enquanto o SNIS utiliza informações dos prestadores de serviço); temporariedade (SEDUR realizou a pesquisa em 1993, enquanto as informações do SNIS referem-se ao período de 2001 a 2008). Há, portanto, a necessidade de estudos sobre o consumo de água desta população para assim realizar o planejamento com valores mais próximos à realidade.

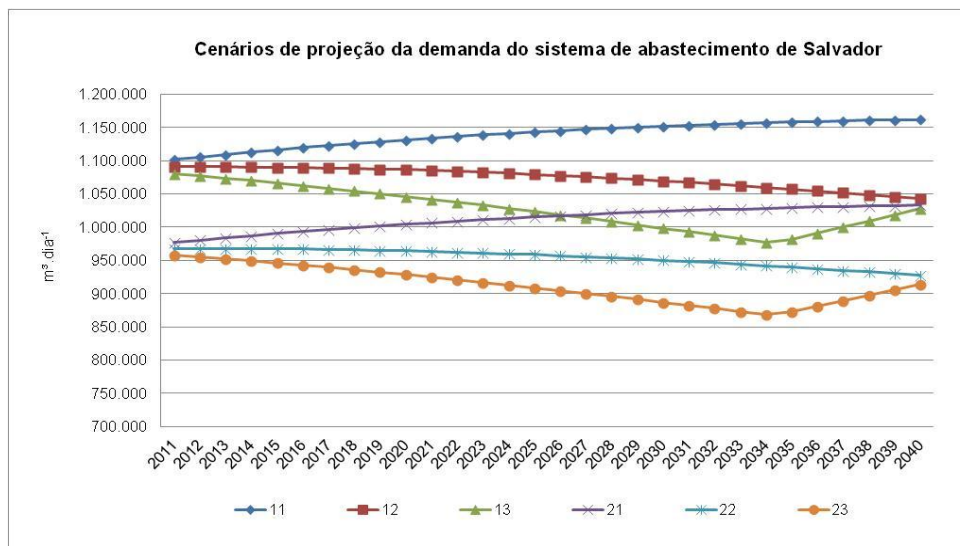


Figura 18: Cenários de projeção de demanda do Sistema de Abastecimento de Água de Salvador

Verifica-se (Figura 18) similaridade na tendência das curvas de projeções 11 e 21, 12 e 22, 13 e 23, pois são estabelecidas em função das mesmas metas de perdas adotadas para 2030. Assim, independente do valor do consumo médio per capita adotado a tendência das projeções 11 e 21 (meta de 35% de perdas na distribuição em 2030) são demandas crescentes, enquanto aquelas das projeções 12 e 22 (meta de 30% de perdas na distribuição em 2030) são demandas com pequeno declínio. As projeções 13 e 23 apresentaram demandas decrescentes (meta de 25% de perdas na distribuição em 2030) até 2035 e crescente nos últimos 5 anos. Este ponto de inflexão ocorre, pois em 2035 é o ano previsto para as perdas na distribuição atingirem o percentual de 20%. Como abordado na metodologia este foi o limite mínimo estabelecido de perdas na distribuição, nível no qual há uma estabilização do controle operacional, mas devido ao aumento de população há uma retomada do aumento da demanda.

Portanto, independente de qual valor do consumo per capita médio real do sistema de abastecimento de Salvador, entre as projeções avaliadas, somente por meio do controle operacional mais rigoroso e contínuo será possível compensar a demanda do crescimento população e ainda reduzir as pressões sobre os recursos hídricos durante o período de 2011 a 2040. Com a implementação de um plano de ação e efetivação para o cumprimento desta

meta poderá ser possível o sistema de abastecimento de Salvador reduzir a demanda hídrica e atender ao incremento da demanda.

Dentre os usos consuntivos das águas do reservatório de Pedra do Cavalo, a segunda maior demanda é a industrial. Assim, na Figura 19 são apresentados os resultados da projeção da demanda industrial (SEDUR, 200-) e das reduções no uso da água determinadas pela diferença entre as demandas projetadas (12; 13; 21; 22 e 23) em relação à projeção 11.

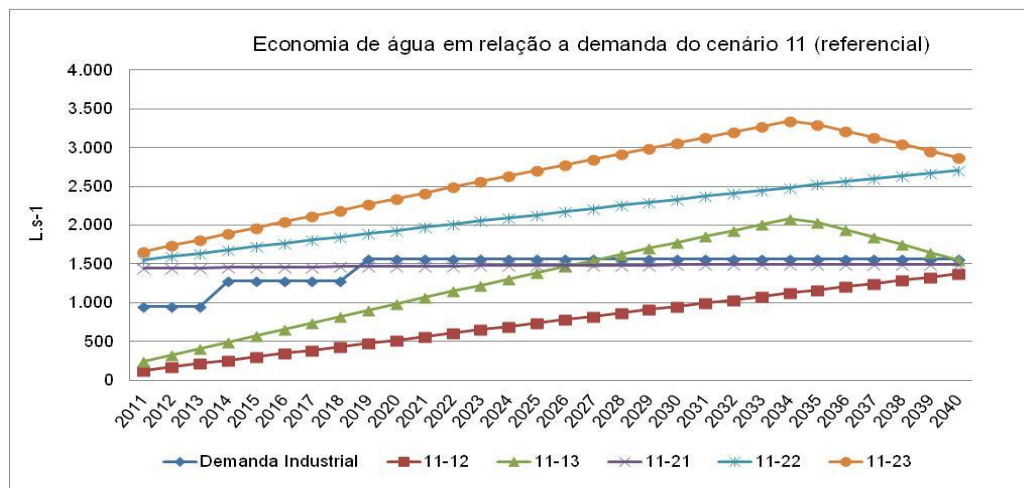


Figura 19: Reduções, em relação à projeção de demanda 11, da demanda por água do Sistema de Abastecimento de Salvador e demanda industrial atendida pelo reservatório Pedra do Cavalo

Verifica-se (Figura 19) que as economias resultantes das reduções da demanda do sistema de abastecimento de Salvador, referente as projeções cujo consumo per capita utilizado foi $150 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e meta de redução de perdas para 2030 superiores a 30% (casos 11-22 e 11-23), seriam suficientes para atender a demanda do setor industrial, em todo horizonte simulado.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados das reduções (11-12; 11-13 e 11-21) em relação ao atendimento das demandas hídricas da indústria, pelo reservatório de Pedra do Cavalo. Esta análise foi realizada para três períodos distintos, determinados em função dos anos em que estão previstos aumento da demanda industrial deste manancial.

Tabela 11: Relação entre a redução das demandas projetadas em relação ao cenário 11 e a demanda industrial – [L.s⁻¹ (%)]

Períodos	Relação entre redução da demanda do sistema de Abastecimento/ Demanda Industrial		
	11-12	11-13	11-21
2011 – 2014 (1.030,1)	192,9 (18,72%)	369,7 (35,89%)	1.447,8 (140,55%)
2015 – 2018 (1.285,8)	366,2 (28,48%)	697,8 (54,26%)	1.460,6 (113,59%)
2019 – 2040 (1.562,8)	928,5 (59,41%)	1.580,6(101,14%)	1.483,6 (94,93%)

Segundo a Tabela 11, a economia resultante da redução da demanda entre a projeção 12 e 11 (11-12) para o período de 2019 a 2040 atenderia cerca de 60% da demanda industrial. A economia relativa às projeções 13 e 21 para este mesmo período seriam suficientes para atender mais de 100 e 94%, respectivamente, da demanda industrial, o que equivaleria uma economia média de mais de 1.480 L.s⁻¹.

8.4 Avaliação dos Cenários

Neste item estão apresentados os resultados da análise dos cenários considerados nessa dissertação, com foco especialmente no reservatório de Pedra do Cavalo. Foram elaborados 12 cenários, sendo um arranjo de duas projeções de disponibilidade e seis de demanda do sistema de abastecimento de água de Salvador.

As projeções de disponibilidade hídrica foram determinadas a partir das séries de vazões afluentes aos reservatórios da bacia do rio Paraguaçu e de suas capacidades de regularização de vazões, conforme apresentado nos itens 8.1 (Alterações na Disponibilidade) e 8.2 (Capacidade de Regularização do Sistema).

As projeções de demanda do sistema de abastecimento de água de Salvador foram elaboradas ora variando o consumo per capita, ora a meta de perdas no sistema de distribuição para o ano de 2030, conforme apresentado no item 8.3 (Projeções das Demandas de Salvador).

A avaliação dos cenários considerados neste trabalho foi realizada por meio dos índices de confiabilidade, elasticidade, vulnerabilidade e sustentabilidade. As análises destes índices foram realizadas de modo global – período de 2011 a 2040 – e por década (2011-2021; 2021-2031 e 2031-2041), considerando o

ano hidrológico (outubro a setembro). Esta análise por década foi realizada para avaliar a dependência dos resultados dos índices em relação à particularidade das séries de vazões afluentes utilizadas.

A probabilidade de atendimento das demandas projetadas neste estudo foi analisada a partir da utilização do indicador de confiabilidade, considerando uma tolerância de 5% como margem de falha. Assim, estabeleceu-se a relação entre o somatório dos meses com demandas atendidas (sistema em estado satisfatório) e o total de meses do período simulado.

Para avaliar a capacidade de recuperação do sistema e o quanto ele é vulnerável, fez-se uma análise do índice de elasticidade e do índice de vulnerabilidade, respectivamente, conforme equações apresentadas no item 7.4.3 (Avaliação dos Resultados).

Como os índices de confiabilidade, elasticidade e vulnerabilidade apresentaram uma grande variação dos resultados utilizou-se o índice de sustentabilidade de modo a englobar todos estes índices. Estes índices são aqui apresentados para o caso do reservatório de Pedra do Cavalo, por ser o foco principal deste estudo. No caso dos reservatórios de montante de Pedra do Cavalo, faz-se referência unicamente à confiabilidade.

8.4.1 Confiabilidade – a montante de Pedra do Cavalo

Os resultados obtidos da confiabilidade global sem e sob efeito das mudanças climáticas para as demandas dos reservatórios a montante de Pedra do Cavalo estão apresentados na Figura 20. Devido a uma limitação dos resultados de saída AcquaNet (número de casas decimais) e, aos baixos valores das demandas nos reservatórios de Casa Branca (consumo humano) e Baraúnas (dessedentação animal) respectivamente, 0,001 e 0,005 m³.s⁻¹, não foi possível verificar o atendimento a essas demandas. Portanto, na Figura 20 não constam as confiabilidades obtidas para estas demandas.

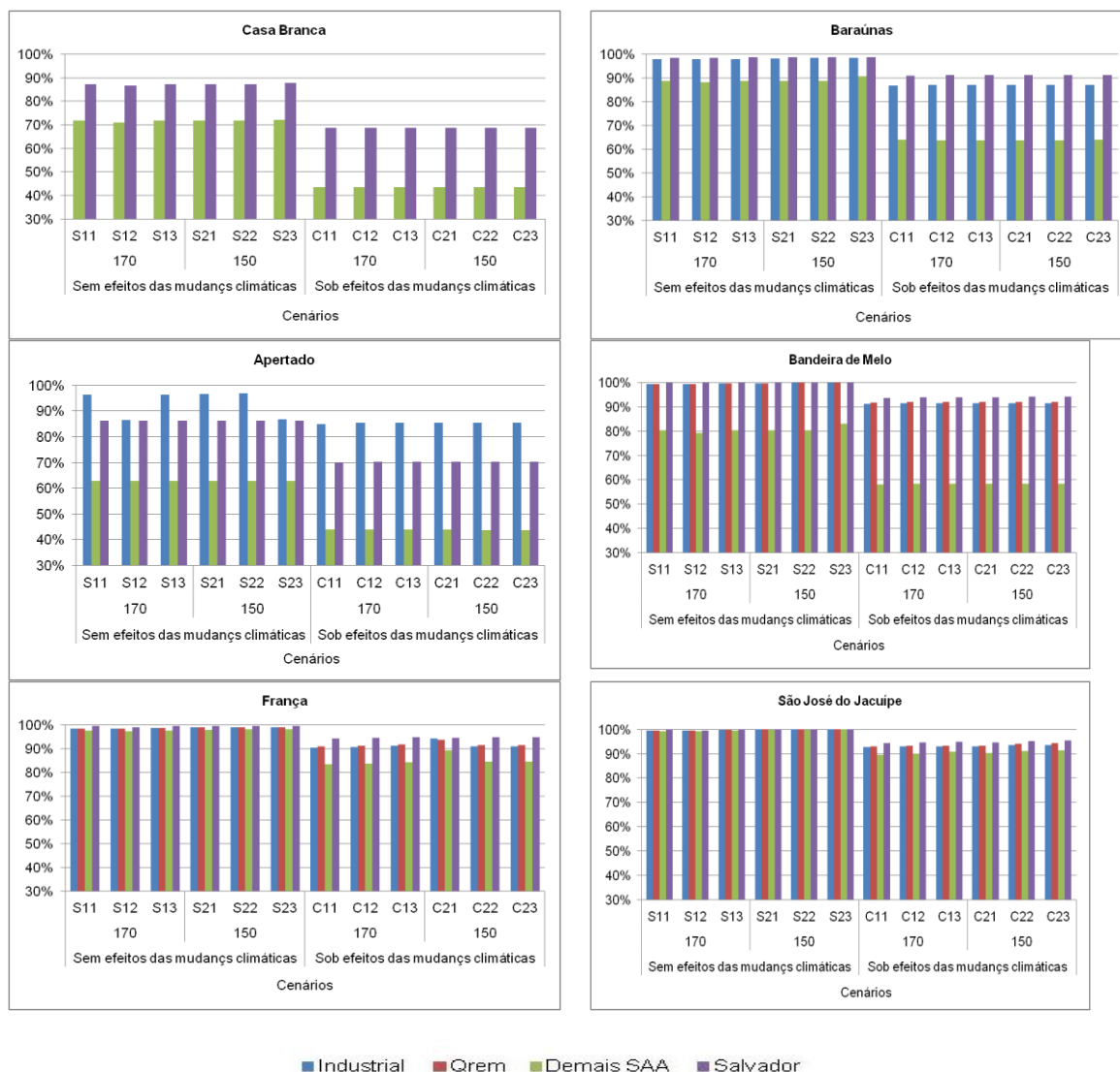


Figura 20: Índices de confiabilidade referentes às demandas dos reservatórios a montante de Pedra do Cavalo

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Os reservatórios de França e São José do Jacuípe apresentaram menores efeitos negativos em decorrência das mudanças climáticas (falhas nos atendimentos às demandas). Estes foram os únicos reservatórios em que as confiabilidades referentes a todas as demandas em todos os cenários foram superiores a 80%. Isto ocorre devido a diferente proporção entre a demanda (Apêndice A) em relação a capacidade de regularização de cada reservatório (Tabela 9). Esta proporção para o ano de 2040 dos reservatórios de São José e França representa cerca de 67% e 40%, respectivamente, enquanto as de Casa Branca, Apertado e Bandeira de Melo representam cerca de 123%, 206% e 147%, respectivamente. Casa Branca e Apertado apresentaram os maiores

impactos, com redução da confiabilidade de cerca de 20% em relação a todas as demandas.

Dentre os setores usuários das águas do rio Paraguaçu a montante de Pedra do Cavalo, a irrigação foi o mais impactado pelas mudanças climáticas. As mudanças climáticas promoveram uma redução da confiabilidade do atendimento a esta demanda nos reservatórios de França e São José do Jacuípe de 97% para 81% e de 100% para 90%, respectivamente. Nos demais reservatórios os impactos foram mais drásticos: Baraúnas de 85% para 54%; Casa Branca de 69% para 42%, Apertado de 63% para 42% e Bandeira de Melo de 81% para 58%.

Quanto aos resultados do índice de confiabilidade em relação ao atendimento das vazões remanescentes, Casa Branca, Apertado e Bandeira de Melo obtiveram, para os cenários sob efeito das mudanças climáticas, valores de 69%, 70% e 94%, respectivamente, enquanto que nos demais reservatórios a montante de Pedra do Cavalo os resultados da confiabilidade a esta demanda foram superiores a 90%.

8.4.2 Avaliação global – Pedra do Cavalo

A análise dos índices de confiabilidade, elasticidade, vulnerabilidade e sustentabilidade realizada para todo o período (2011 a 2040) de simulação neste trabalho chamada de análise “global”. Os resultados apresentados têm influência das prioridades definidas para cada uso. A confiabilidade global dos usuários das águas do reservatório de Pedra do Cavalo, exceto geração de energia elétrica, está apresentada na Tabela 12.

A confiabilidade para os cenários sem efeitos das mudanças climáticas, para todas as demandas foram iguais ou superiores a 99%, portanto, com uma quantidade de falhas de no máximo 3 meses para os 348 meses simulados. Em geral, este índice reduziu-se em cerca de 5% naqueles cenários sob efeitos das mudanças climáticas, obtendo em todos eles, para maioria das demandas, valores ainda superiores a 90%. Observou-se ainda, que os resultados deste índice em relação ao atendimento às vazões remanescentes foram reduzidos devido aos impactos das mudanças climáticas de 100% para, em média, 95%.

Tabela 12: Confiabilidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo

Projeções de Disponibilidade	Projeções de Demanda		Cenários	Índice de confiabilidade			
	Consumo per capita	Perdas		Industrial	Qrem	Demais SAA	SAA-SSA
Sem efeitos das mudanças climáticas	170,9	35%	S11	99%	100%	99%	99%
		30%	S12	99%	100%	99%	99%
		25%	S13	99%	100%	99%	99%
	150	35%	S21	99%	100%	100%	100%
		30%	S22	99%	100%	100%	100%
		25%	S23	100%	100%	100%	100%
Sob efeitos das mudanças climáticas	170,9	35%	C11	90%	95%	94%	93%
		30%	C12	91%	95%	95%	95%
		25%	C13	92%	95%	95%	95%
	150	35%	C21	91%	95%	95%	95%
		30%	C22	92%	96%	95%	95%
		25%	C23	93%	96%	95%	95%

Ressalta-se que o não atendimento às vazões remanescentes associado à severidade do déficit pode comprometer os serviços ambientais nos trechos fluviais a jusante dos reservatórios ou até mesmo promover a desconexão das planícies de inundação e, conseqüentemente, alterações na disponibilidade de habitat, como observado nos rios da Geórgia e Flórida (GIBSON ET. AL, 2005).

O índice de confiabilidade global do atendimento às demandas em Pedra do Cavalo mostrou-se mais sensível aos efeitos das mudanças climáticas em relação às projeções de demanda do sistema de abastecimento de água de Salvador. Para os cenários sem efeitos das mudanças climáticas os valores deste índice em relação a todas as demandas foram entre 99 e 100%. Entretanto, naqueles cenários sob efeitos das mudanças climáticas os resultados deste índice no atendimento as demandas foram entre 90 a 95%. Portanto, as mudanças climáticas promoveram uma redução de 9% (S11 – C11) em relação ao atendimento da demanda industrial e a redução do consumo *per capita* associado ao controle mais rigoroso das perdas de água no sistema de distribuição de Salvador minimizaria estes efeitos para 6% (S11 – C23). Portanto estas ações promoveriam um redução dos impactos das mudanças climáticas no atendimento a indústria em cerca de 33%.

Embora a máxima economia resultante da redução de consumo entre as projeções de demanda (11-23) do período de 2011 a 2040, aproximadamente

2,63 m³.s⁻¹, seja pequena quando comparada à capacidade de regularização deste reservatório (86,62 m³.s⁻¹) associada à garantia de 90% no atendimento às demandas, a implementação de medidas de redução da demanda mostrou-se sensível aos resultados de confiabilidade nos cenários sob efeitos das mudanças climáticas.

A elasticidade global, ou seja, do período de 2011 a 2040, do atendimento às demandas do reservatório de Pedra do Cavalo é apresentada na Figura 21. Os cenários sem efeitos das mudanças climáticas mostraram-se com uma capacidade maior de recuperação de um estado insatisfatório. Nesta condição de disponibilidade hídrica, ficou evidente a importância do menor consumo per capita associado ao desafio do controle mais rigoroso das perdas, uma vez que os cenários sem efeitos das mudanças climáticas cujo per capita adotado foi 150 em L.hab⁻¹.dia⁻¹ apresentaram melhores resultados quando comparados aqueles com per capita de 170,9 em L.hab⁻¹.dia⁻¹.

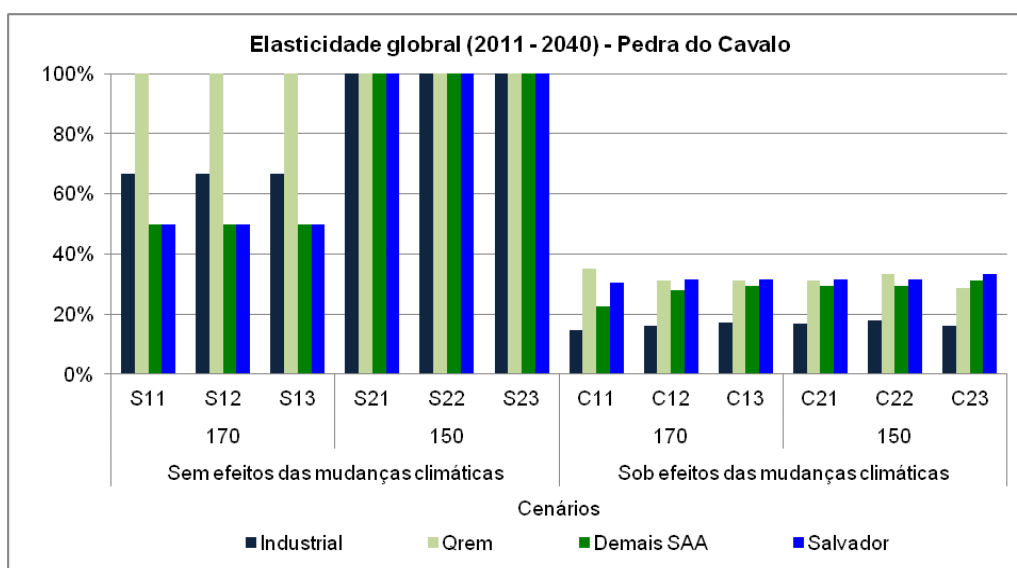


Figura 21: Elasticidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Quanto à elasticidade do atendimento às demandas dos cenários sob efeitos das mudanças climáticas, estes apresentaram uma redução significativa (superior a 70%), no entanto para a mesma demanda a variação entre os cenários foi pequena. Observou-se que a elasticidade no atendimento a algumas demandas, principalmente vazão remanescente (Qrem) e consumo humano, dos cenários C12, C13 e C23 apresentaram resultados deste índice

inferiores ao cenário de menor demanda – C11. Isto decorre devido à menor quantidade de valores satisfatórios seguidos de um valor insatisfatório e, também, menor número de falhas. Assim, pode-se classificar a elasticidade da maioria dos ao atendimento às demandas daqueles cenários sem efeitos das mudanças climáticas de “alto” e para os cenários sob efeitos das mudanças climáticas de “médio baixo”.

Ao analisar a vulnerabilidade no atendimento às demandas de Pedra do Cavalo, exceto geração de energia, observou-se que para os cenários sem efeitos das mudanças climáticas este índice ficou abaixo de 1%, conforme apresentado na Figura 22. Em relação aos cenários sob efeitos das mudanças climáticas, a vulnerabilidade aumentou para valores entre 2 e 10% e mostrou-se sensível as diferentes projeções de demanda de Salvador. Este sistema apresentou-se “baixa” vulnerabilidade em ambas as projeções de disponibilidade hídrica.

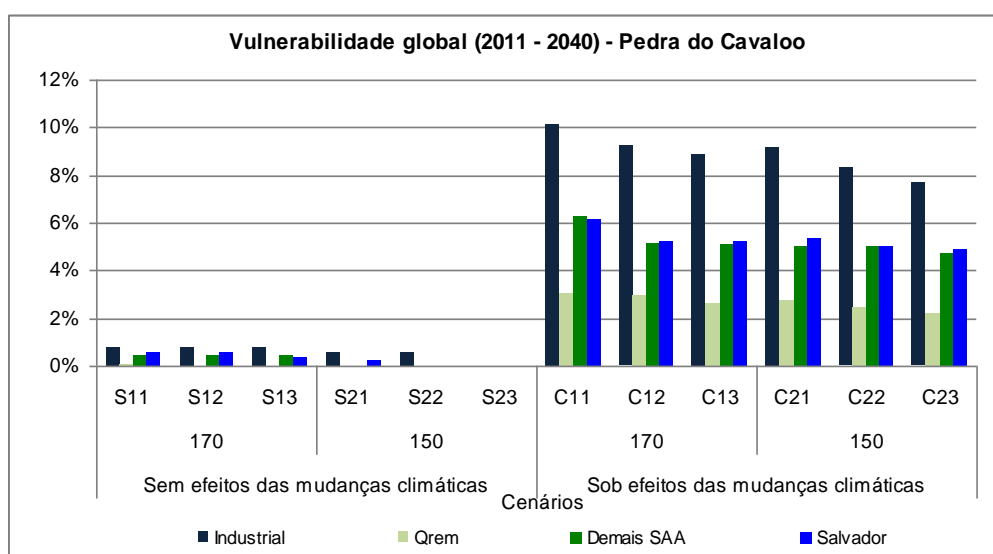


Figura 22: Vulnerabilidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em $L.hab^{-1}.dia^{-1}$.

O índice de sustentabilidade global do atendimento às demandas de Pedra do Cavalo é apresentado na Figura 23. Observa-se uma redução significativa dos valores deste índice para os cenários sob efeitos das mudanças climáticas. Nos cenários sem efeitos das mudanças climáticas, observa-se ainda uma relação direta da melhoria deste índice com a redução do consumo per capita e

meta de redução de perda mais rígida, reforçando assim a importância da gestão da demanda.

Por outro lado, os valores da sustentabilidade global dos cenários sob efeitos das mudanças climáticas mostraram-se praticamente constantes em relação a cada demanda. Portanto, este índice relativo a esta projeção de disponibilidade hídrica não foi sensível a variação das projeções de demanda isto, pois a economia gerada em relação a gestão da demanda (consumo per capita e controle de perdas) foram relativamente inferiores aos impactos das vazões afluentes do sistema de reservatórios a montante de Pedra do Cavalo.

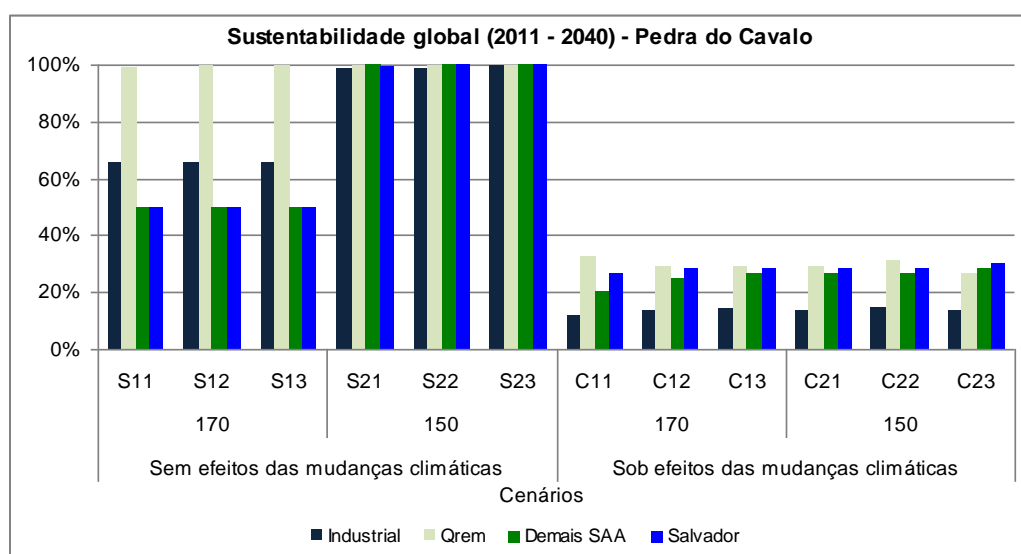


Figura 23: Sustentabilidade global (2011 – 2040) – reservatório de Pedra do Cavalo

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em $L.hab^{-1}.dia^{-1}$.

A geração de energia pode ser atendida por uma faixa de vazões e, assim, gerar montantes de energia variando de um limite mínimo a um limite máximo. Portanto, para esta demanda não é suficiente avaliar sucesso ou falha, e sim verificar o quanto de vazão foi disponibilizada para geração. Analisando desta maneira e considerando o intervalo de simulação mensal, os resultados referentes à geração de energia a partir dos cenários considerados nesta dissertação encontram-se ilustrados na Figura 24.

O resultado da geração de energia elétrica mesmo para o cenário S11, apresentado na Figura 24, está abaixo da média de geração praticada atualmente (40 MW). Isto, pois conforme Apêndice A, a partir de 2012 houve um aumento significativo da demanda para irrigação a montante do

reservatório de Pedra do Cavalo, cuja prioridade estabelecida no atendimento foi superior ao da geração de energia elétrica, embora não se saiba exatamente qual é a situação atual de alocação das águas da bacia do rio Paraguaçu como um todo.

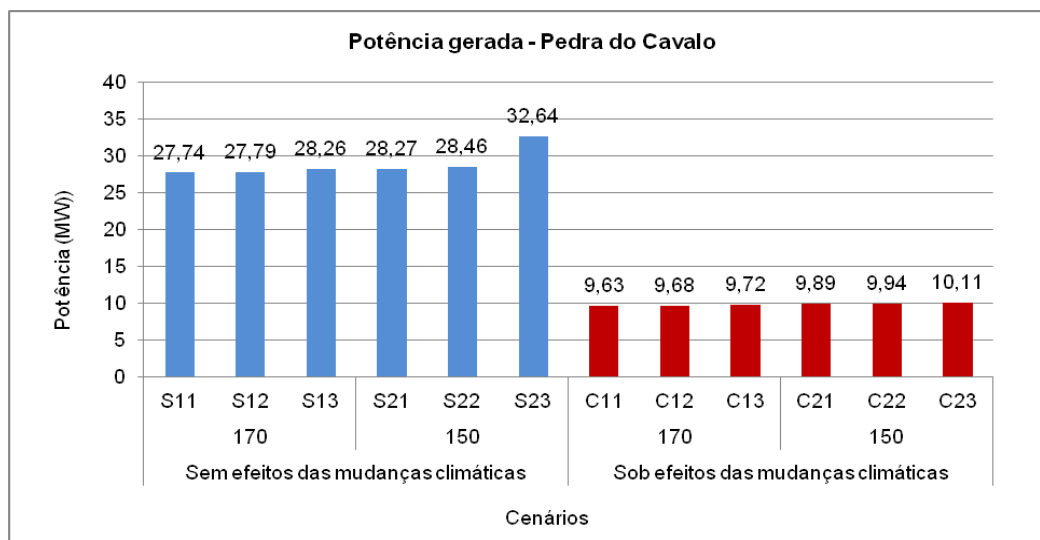


Figura 24: Potência gerada (2011 – 2040) em Pedra do Cavalo a partir dos cenários propostos

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Observou-se, para as duas projeções de disponibilidade, uma relação crescente direta entre uma maior produção de energia elétrica frente as projeções de menor demanda pelo sistema de abastecimento de água Salvador (SSA - Salvador), resultante da redução do consumo per capita e de um maior controle das perdas na distribuição deste sistema. Avaliando os cenários sem efeitos das mudanças climáticas, a produção de energia passou de 27,74 MW (cenário S11) para 32,64 MW (S23 cenário de menor demanda pelo SSA - Salvador), que implica em um aumento de cerca de 17,7%. Ao realizar esta análise nos cenários sob efeito das mudanças climáticas (C11 em relação C23) obtém-se um aumento de produção média de 5%. Por outro lado, observa-se que a mudanças climáticas reduziram a produção de energia elétrica drasticamente de 27,74 MW (S11) para 9,63 MW (C11), portanto, uma redução de cerca de 65%, embora a análise da produção de energia hidrelétrica mais adequada devesse ser realizada com vazões diárias. Vale lembrar que estes são os cenários de demanda para o abastecimento projetados pelo Plano de Saneamento Básico de Salvador.

8.4.3 Avaliação por década – Pedra do Cavalo

Ao analisar a confiabilidade por década do atendimento às demandas dependentes do reservatório de Pedra do Cavalo por década (Figura 25), observou-se que enquanto nos cenários sem efeitos das mudanças climáticas as poucas falhas no atendimento as demandas ocorrem concentrados na primeira década (2011 - 2021), nos cenários sob efeito das mudanças climáticas estas se apresentam distribuídas e crescentes nas duas últimas décadas, obtendo todas as demanda valores deste índice na última década inferior a 90% em todos os cenários. Os resultados deste índice corroboram com os resultados observados nas vazões afluentes ao reservatório de Pedra do Cavalo (Figura 16).

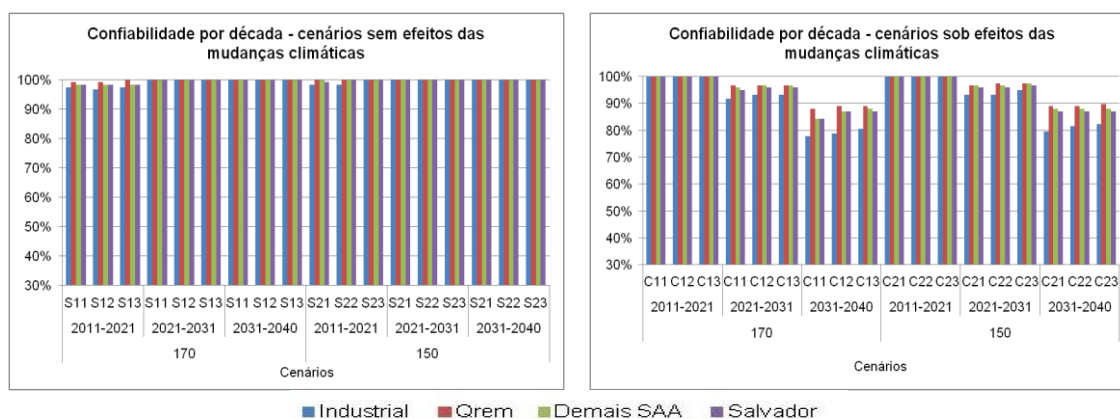


Figura 25: Confiabilidade por década – Pedra do Cavalo

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em $L.hab^{-1}.dia^{-1}$.

Observou-se que o índice de confiabilidade por década nos cenários sob efeitos das mudanças climáticas, principalmente na última década, apresentou-se sensível às diferentes projeções da demanda do sistema de abastecimento. Nos cenários cujo valor do consumo per capita foi de $150 L.hab^{-1}.dia^{-1}$ apresentou valores deste índice ligeiramente superiores quando comparados aqueles com consumo per capita de $170,9 L.hab^{-1}.dia^{-1}$.

Diante da distribuição da confiabilidade por década das demandas do reservatório de Pedra do Cavalo, os índices de elasticidade, vulnerabilidade e sustentabilidade para os cenários sem efeito das mudanças climáticas para as duas últimas décadas foram respectivamente de 0%; 0% e 100%, em relação a todas as demandas. Em relação à primeira década, os resultados da

elasticidade são apresentados na Tabela 13. Estes resultados apresentaram variações mais expressivas em relação ao consumo per capita quando comparadas as diferentes meta de redução de perdas. O sistema pode ser classificado como de elasticidade “alta” em relação a vazão remanescentes de Pedra do Cavalo para todos os cenários e em relação as demandas cujos cenários utilizou-se consumo per capita de 150 L.hab⁻¹.dia⁻¹. Em relação ao atendimento da demanda industrial para os cenários cujo valor per capita adotado foi de 170,9 L.hab⁻¹.dia⁻¹ o índice de elasticidade pode ser classificado como “médio alto” e para a abastecimento de água de Salvador e demais sistemas de “médio baixo”.

Tabela 13: Elasticidade sem efeitos das mudanças climáticas do período de 2011-2021 – reservatório Pedra do Cavalo

Cenário de Disponibilidade	Cenários de Demanda		Cenários	Índice de elasticidade			
	Consumo per capita	Perdas		Industrial	Qrem	Demais SAA	SAA-SSA
Sem efeitos das mudanças climáticas	170,9	35%	S11	67%	100%	50%	50%
		30%	S12	67%	100%	50%	50%
		25%	S13	67%	100%	50%	50%
	150,0	35%	S21	100%	100%	100%	100%
		30%	S22	100%	100%	100%	100%
		25%	S23	100%	100%	100%	100%

O índice de vulnerabilidade mede a gravidade das conseqüências pelo comprometimento das falhas do sistema, portanto, quando as falhas tendem a zero este índice tende a 1. Na análise por década, para todas as demandas os valores deste índice foram inferiores a 3%.

Os resultados do índice de sustentabilidade referente à avaliação por década de Pedra do Cavalo estão apresentados na Figura 26.

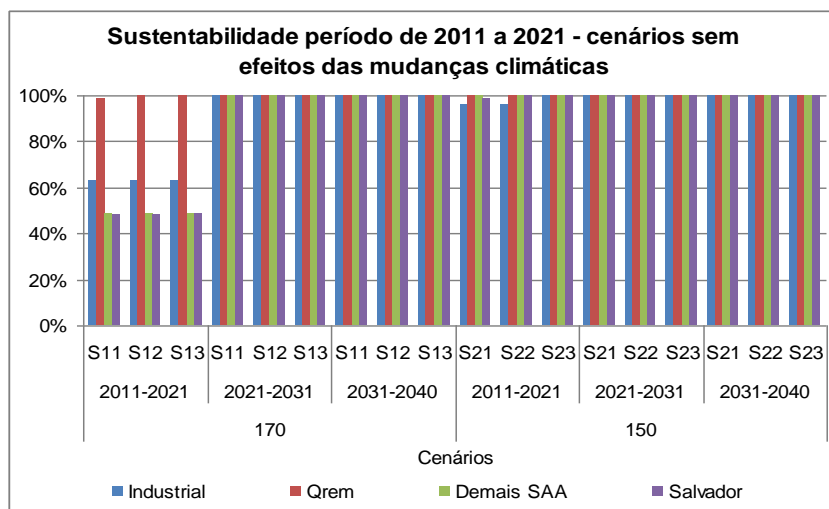


Figura 26: Sustentabilidade sem efeitos das mudanças climáticas do período de 2011-2021 – reservatório Pedra do Cavalo

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em L.hab⁻¹.dia⁻¹

Esse índice de sustentabilidade, na primeira década, referente aos cenários sem efeito das mudanças climáticas mostrou-se sensível aos valores adotados de consumo per capita. Os sistemas de abastecimento de água, tanto o de Salvador quanto aos demais sistemas de abastecimento, foram às demandas cujos valores deste índice foram os mais baixos.

Na Figura 27 são apresentados os resultados do índice de elasticidade por década para os cenários sob efeitos das mudanças climáticas. Observou-se, na primeira década, que a elasticidade em relação a todas as demandas para todos os cenários foi 100%. Nas décadas seguintes, os valores destes indicadores para os cenários cujo consumo per capita foi de 170,9 L.hab⁻¹.dia⁻¹ foram iguais ou inferiores àqueles com 150 L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Assim, os resultados do índice de elasticidade apresentaram-se, na primeira década, alta capacidade de recuperar-se, enquanto nas duas últimas décadas este sistema pode ser classificado, em geral, como de elasticidade “médio baixo”, exceto em relação ao atendimento da demanda industrial, que pode ser classificado de “baixa” elasticidade, visto que seus valores apresentaram-se inferiores a 10%.

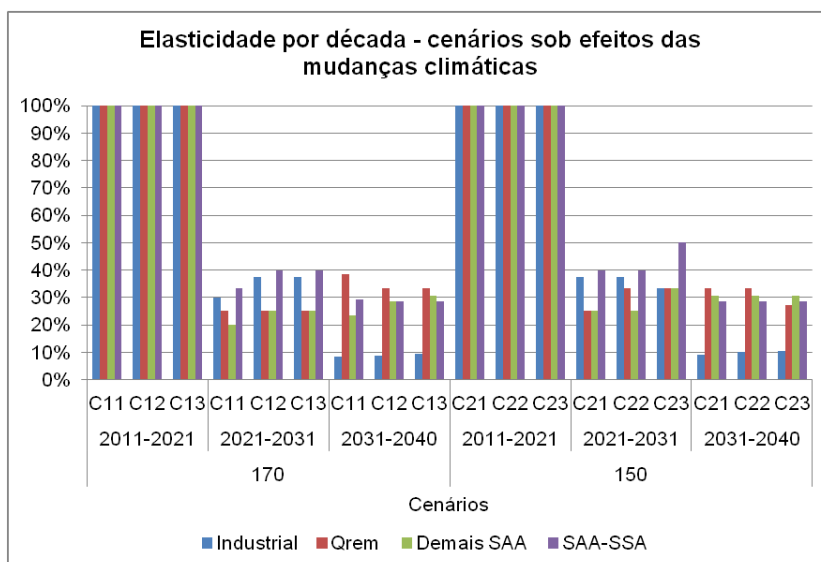


Figura 27: Elasticidade por décadas – reservatório Pedra do Cavalo – sob efeitos das mudanças climáticas

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em $L.hab^{-1}.dia^{-1}$.

A vulnerabilidade do atendimento às demandas do reservatório de Pedra do Cavalo nos cenários sob efeitos das mudanças climáticas encontra-se na Figura 28. Os resultados deste índice em relação a todas as demandas nos cenários sob efeitos das mudanças climáticas foram crescentes em relação ao tempo e decrescentes em relação às projeções de demanda de Salvador. Em relação ao atendimento de todas as demandas em ambos os cenários de disponibilidade hídrica – com e sem efeitos das mudanças climáticas – o sistema foi classificado de “baixa” vulnerabilidade.

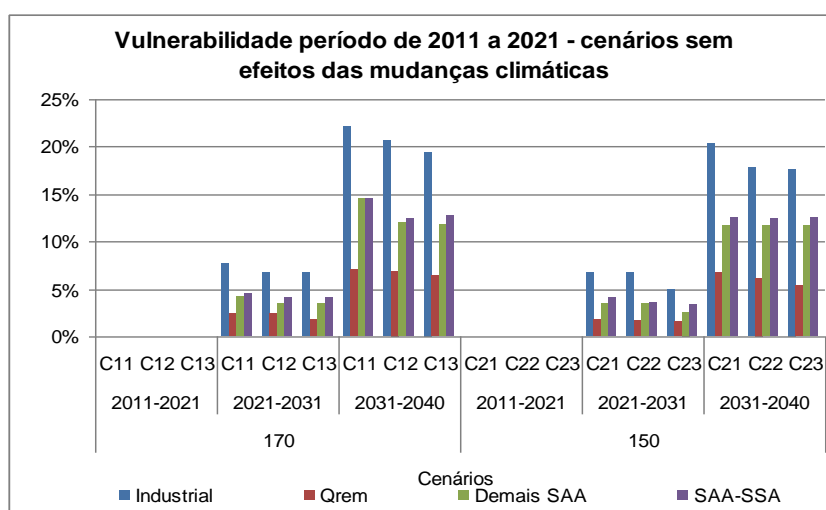


Figura 28: Vulnerabilidade por décadas – reservatório Pedra do Cavalo – sob efeitos das mudanças climáticas

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em $L.hab^{-1}.dia^{-1}$.

A sustentabilidade por década nos cenários sob efeitos das mudanças climáticas de Pedra do Cavalo está apresentada na Figura 29.

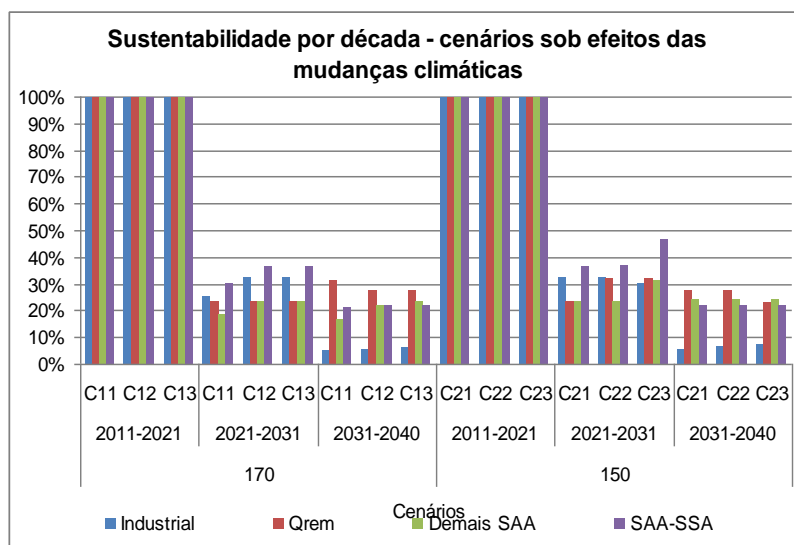


Figura 29: Sustentabilidade por décadas – reservatório Pedra do Cavalo – sob efeitos das mudanças climáticas

Obs.: Os valores de 170 e 150 correspondem aos consumos per capita adotados em L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Observou-se similaridade entre a distribuição dos índices de sustentabilidade e elasticidade. Ao comparar os resultados deste índice por década, entre os cenários sem e com efeitos das mudanças climáticas, observa-se que devido à distribuição das vazões afluentes, os primeiros, principalmente para as duas últimas décadas, apresentam “alta” sustentabilidade (100%), enquanto nos cenários com tais efeitos estes valores são em média inferiores a 30%. Para os cenários sob efeitos das mudanças climáticas este índice apresenta melhores resultados para primeira década, 100% para todas as demandas.

Assim, as falhas nos atendimentos as demandas dos usos consuntivos do reservatório de Pedra do Cavalo por década permitiu, na avaliação dos cenários propostos, verificar a dependência dos resultados dos indicadores à peculiaridade das séries das vazões afluentes. Portanto, caso fosse utilizado outro conjunto das vazões sem efeitos das mudanças climáticas, cuja sequência dos dados não fosse exatamente aquela simulada para o período de 1961 a 1990, mesmo que fossem mantidas algumas características estatísticas (média, variância, por exemplo), os resultados do número de falhas e, conseqüentemente, dos índices de *performance* poderiam ser diferentes.

9 CONCLUSÃO

Esta dissertação propôs avaliar a disponibilidade de água do reservatório de Pedra do Cavalo, para suprimento da demanda futura do sistema de abastecimento de Salvador, considerando os usos das águas na bacia e possíveis mudanças climáticas. Para isto, foram elaborados doze (12) cenários, sendo estes compostos por um arranjo de duas (2) projeções de disponibilidade e seis (6) de demanda.

As duas projeções de disponibilidade hídrica foram definidas por meio das vazões afluentes aos sistemas de reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, sendo a primeira destas obtidas por meio do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) a partir dos dados do clima presente (1961-1990) simulados pelo modelo ETA. Para a segunda projeção utilizou-se o cenário A1B (cenário de estabilização das emissões) de clima futuro numa combinação do modelo atmosférico com o modelo hidrológico. A primeira projeção foi chamada de “vazões sem efeitos das mudanças climáticas” e a segunda “vazões sob efeito das mudanças climáticas”. Estas vazões foram geradas por Genz *et al.* (2011), sendo utilizadas em ambas projeções a metodologia *off-line*, uma vez que o modelo hidrológico não interagiu com o modelo climático.

As 6 projeções da demanda foram elaboradas a partir do arranjo entre 2 valores de consumo per capita ($170,9 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e $150 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e 3 metas, para 2030, de perdas no sistema de distribuição de água de Salvador (35%, 30% e 25%). As demandas referentes aos demais usuários das águas da bacia do Paraguaçu foram aquelas fornecidas por Medeiros *et al.* (2004) ou foram estimadas a partir de projeções de população com dados do IBGE e de consumo per capita do SNIS, sendo estas iguais em todos os cenários considerados neste trabalho.

A avaliação na disponibilidade hídrica do reservatório de Pedra do Cavalo decorrentes das mudanças climáticas em relação ao atendimento da demanda do sistema de abastecimento de Salvador em curto prazo (2012-2040) para os cenários propostos foi realizada por meio dos índices de confiabilidade,

elasticidade, vulnerabilidade e sustentabilidade, sendo para isto realizadas simulações no modelo de rede de fluxo, AcquaNet.

Para avaliação dos cenários propostos, foi preciso inicialmente analisar a capacidade de regularização do sistema, para assim definir as vazões remanescentes. Nestas simulações, foram desconsideradas as regularizações dos reservatórios de montante quando da simulação dos reservatórios de Bandeira de Melo, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo, pois a legislação não faz menção sobre as vazões outorgáveis quando da existência de reservatórios em cascata, como é o caso da bacia do rio Paraguaçu.

O AcquaNet foi utilizado com opção de cálculo em calibração e em simulação contínua em seus módulos de alocação de água e geração de energia, com tolerâncias aos volumes e demandas de 10 e 5%, respectivamente. O critério utilizado para definição das prioridades foi o de outorga vigente e baseada no conceito de “caminhos suaves”, portanto, prioridade máxima ao atendimento do das vazões remanescentes, seguida pelo consumo humano (sistemas de abastecimento) e dessedentação animal, depois irrigação e industrial, depois para o atendimento ao volume meta (volume de armazenamento dos reservatórios) e por fim para a geração de energia. O volume meta estabelecido para os reservatórios a montante de Pedra do Cavalo foi o volume máximo, enquanto que para Pedra do Cavalo foi o volume referente a cota 113m, limite estabelecido para geração de energia. A potência máxima desejada para geração de energia foi de 160 MW. Os valores relativos as prioridades foram determinantes nos resultados dos indicadores encontrados, assim como a definição a prioridade do volume meta do reservatório de Pedra do Cavalo com valor superior o da geração de energia.

Quanto aos resultados, foram observadas reduções nas vazões afluentes de todos os reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, sendo as mais significativas as dos reservatórios mais próximos as nascentes (Baraúnas, Casa Branca, Apertado e Bandeira de Melo, cujas vazões médias mensais reduziram mais de 32%. Vazões referentes aos reservatórios de França e São José do Jacuípe reduziram cerca de 21 e 18%, respectivamente. No que se refere ao reservatório de Pedra do Cavalo as vazões médias passaram de $104,36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para $75,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, portanto uma redução de 28%.

Dentre os impactos previstos das mudanças climáticas nos recursos hídricos destacam-se as alterações nas taxas de evaporação. No caso da bacia do rio Paraguaçu foi observado aumento destas taxas em cerca de 3%. Em relação à vazão de referência (Q_{90}), houve uma redução de cerca de 44%. Diante da redução das vazões afluentes aos reservatórios da bacia em estudo, decorrente dos efeitos das mudanças climáticas, é provável haver uma redução também da capacidade de regularização deste sistema. Embora neste trabalho tenham sido considerados inalterados os valores das vazões remanescentes para as simulações dos cenários propostos, faz-se necessário, como medida de adaptação às mudanças climáticas, uma revisão das vazões outorgáveis. Portanto, será importante redefinir novos critérios considerando a variabilidade e o regime de vazões ecológicas para assim minimizar os impactos negativos sobre o regime hidrológico e, conseqüentemente, sobre as condições ecológicas locais.

Em relação às demandas, observou-se que somente por meio do controle operacional mais rigoroso e contínuo, neste estudo avaliado em termos de redução das perdas de água e redução do consumo, será possível compensar a demanda causada pelo crescimento populacional. Verificou-se que as reduções da demanda do sistema de abastecimento de Salvador, referente às projeções cujos consumo per capita real de $150 \text{ L.hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ e meta de redução de perdas para 2030 superior a 30%, seriam suficientes, em todo horizonte simulado, para atender a demanda do setor industrial. A economia gerada pela projeção 12 em relação a 11 daria para atender cerca de 60% da demanda industrial no período de 2019 a 2040, enquanto aquelas das projeções 13 e 21 atenderiam 100% da demanda industrial deste período.

Os reservatórios de França e São José do Jacuípe apresentaram menores efeitos negativos às mudanças climáticas (falhas no atendimento às demandas), enquanto que Casa Branca e Apertado apresentaram maiores impactos, com redução da confiabilidade de cerca de 20% em relação a todas as demandas.

Dentre os setores usuários das águas do rio Paraguaçu a montante de Pedra do Cavalo, a irrigação foi o mais impactado pelas mudanças climáticas. Somente nos reservatórios de França e São José do Jacuípe a confiabilidade

do atendimento a irrigação nos cenários de menor disponibilidade hídrica – sob efeitos das mudanças climáticas – foram entre 84% e 91%. As reduções mais drásticas ocorreram nos reservatórios de Baraúnas, Casa Branca, Apertado e Bandeira de Melo, os quais apresentaram acréscimo de falhas de aproximadamente 25%, 28%, 19% e 22%, respectivamente. Considerando que a demanda para irrigação nos reservatórios de Apertado ($7,59 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) e Bandeira de Melo ($29 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) é expressiva, uma redução severa da confiabilidade poderá comprometer consideravelmente a produção agrícola e econômica destes locais.

Quanto aos impactos das mudanças climáticas na geração de energia, observou uma redução drástica de 20,48 MW (cenário S11) para 6,96 MW (cenário C11), portanto, uma redução de cerca de 65%.

A confiabilidade para o período de 2011 – 2040 (confiabilidade global) para os cenários sem efeitos das mudanças climáticas do atendimento a demanda do sistema de abastecimento de água de Salvador para todas as projeções de demanda foi em média 100%, havendo uma redução para cerca de 93% para os cenários sob efeito das mudanças climáticas. Este índice obteve uma redução também de aproximadamente 5% em relação ao atendimento da demanda da vazão remanescente e dos demais sistemas de abastecimento existentes em Pedra do Cavalo. Dentre os usos consuntivos, o abastecimento industrial foi aquele que teve o maior impacto decorrente das mudanças climáticas, com uma redução do índice de confiabilidade de 99% para 92%.

Em geral, o índice de elasticidade global em relação aos usos das águas de Pedra do Cavalo (indústria, vazão remanescente, abastecimento de Salvador e das demais localidades) foi reduzida pelos efeitos das mudanças climáticas cerca de 67, 68, 47 e 43%, respectivamente. Quanto à vulnerabilidade, em geral, em relação a todos os cenários foi inferior a 25%. O índice de sustentabilidade global obtida em termos médios dos cenários com mesma disponibilidade hídrica em relação aos usos para indústria, vazão remanescente, abastecimento de Salvador e das demais localidades, foi reduzida de 82% para 14%; 100% para 30%; 75% para 28% e de 75% para 26%, respectivamente.

A avaliação dos índices por década permitiu verificar a dependência direta dos resultados dos índices de desempenho em relação à particularidade das séries de vazões afluentes utilizadas. Enquanto para os cenários sob efeitos das mudanças climáticas as falhas ocorrem distribuídas e crescentes ao longo das três décadas, naqueles sem efeitos das mudanças climáticas as falhas concentraram-se na primeira década, o que por sua vez, foi determinante nos resultados dos índices de elasticidade e sustentabilidade. Com isso, reforça-se o fato de que outras séries, com outras sequências de vazões, mesmo na mesma ordem de magnitude e frequência, devem interferir nos valores desses índices.

Observou-se ainda, que o equilíbrio entre a disponibilidade e demanda na bacia do rio Paraguaçu foi predominantemente definida pelas séries de vazões afluentes. No entanto, por meio da análise dos índices de elasticidade, vulnerabilidade e sustentabilidade foi possível observar a importância das ações de gestão de demanda, uma vez que os melhores resultados obtidos foram para aqueles cenários com valor per capita de 150 L.hab⁻¹. dia⁻¹ e meta de perda na distribuições de 25% em 2030. É importante considerar que as economias relativas à redução da demanda do sistema de Salvador gerarão inclusive benefícios econômico-financeiros e ambientais que não foram analisados neste trabalho.

Portanto, a redução prevista para a disponibilidade hídrica do reservatório de Pedra do Cavalo, em curto prazo, poderá comprometer o abastecimento de água de Salvador; e, medidas de redução da demanda, tais como redução de perdas e do consumo, embora não tenham sido suficientes para garantir o equilíbrio entre disponibilidade *versus* demanda hídrica, mostraram-se importante na magnitude das falhas e, principalmente, na capacidade de recuperação do sistema e na sustentabilidade deste sistema.

A sensibilidade do sistema de reservatório da bacia do rio Paraguaçu e, portanto, de Pedra do Cavalo, poderá ser maior em relação as projeções de demanda para cenários sob efeitos das mudanças climáticas, quando da simulação qualitativa das águas, uma vez que com o aumento das taxas de evaporação, redução das vazões afluentes, das máximas e mínimas haja

também alterações físico-químicas e bacteriológicas, conforme aquelas discutidas por Whitehead *et al.* (2009) e IPCC (2008).

O conjunto de efeitos negativos das mudanças climáticas na bacia do rio Paraguaçu – aumento das taxas de evaporação e reduções das vazões do rio Paraguaçu – poderão diminuir as velocidades das águas e gerar impactos significativos como aqueles observados por Gibson *et al.* (2005), Barnett *et al.* (2004) e Whitehead *et al.* (2009) tais como: alterações nas vazões mínimas e máximas, no ecossistema aquático, na desconexão de trechos de canais fluviais, na proliferação de algas e no comprometimento da qualidade das águas.

As reduções das vazões associadas ao aumento das temperaturas e das taxas de evaporação poderão implicar em aumento das concentrações de sais dissolvidos. Para remoção destes sais, os sistemas convencionais de tratamento de água serão ineficientes. Além disso, soma-se a precariedade da disposição dos esgotos da maioria das cidades desta região. Permanecendo tal realidade espera-se ainda um aumento das concentrações de coliformes termotolerantes nestas águas.

De acordo com o estudo de Genz *et al.* (2011) a redução das vazões afluentes do rio Paraguaçu serão intensificadas no final do século daí a importância de se estabelecer ações contínuas de redução da demanda mesmo nas próximas décadas de modo que as adaptações à restrição da disponibilidade possam ser suaves.

Os resultados da presente pesquisa corroboram com aqueles encontrados por Barnett *et al.* (2004), Schaeffer *et al.* (2008) e Tiezzi (2009). Barnett *et al.* (2004) mencionaram redução da capacidade de fornecimento de água para o sul da Califórnia e do interior do sudoeste e a geração hidrelétrica (redução em até 40%) em consequência das mudanças climáticas. Schaeffer *et al.* (2008) estimaram queda de 1,0% a 2,2% na produção nacional de eletricidade de origem hidráulica, sinalizaram maior intensidade no Nordeste com redução de cerca de 7,7% da produção de energia das usinas hidrelétricas da bacia do rio São Francisco (2071–2100). Tiezzi (2009) estimou perda de produção de energia para a bacia do Alto Paranapanema de 4,5% a 10,3% (cenário B2) e

de 7,8% a 13,6% (cenário A2). Ressalta que a redução da produção de energia no reservatório de Pedra do Cavalo advinda das mudanças climáticas tenha sido bem mais severas.

Neste trabalho foi considerado que o reservatório de Pedra do Cavalo permanecerá para todo o período de simulação (2011-2040) fornecendo 60% da demanda de água de Salvador e Região Metropolitana, uma vez que o Plano Municipal de Saneamento desta cidade menciona que o atendimento ao aumento desta demanda será por meio da Barragem de Santa Helena, localizado no rio Jacuípe, por meio da reversão de vazões para o reservatório de Joanes II. Contudo, estudos apontam impactos mais severos de redução de disponibilidade hídricas nos mananciais da bacia do Recôncavo Norte e, portanto, nos demais mananciais que abastecem Salvador e Região Metropolitana, inclusive Jacuípe (GENZ *et al.*, 2010).

Deste modo, é provável que devido à maior severidade dos impactos das mudanças climáticas na bacia do Recôncavo Norte, o reservatório de Pedra do Cavalo tenha que atender ao incremento de demanda de Salvador. Assim, é provável que ao simular os cenários considerados neste trabalho contemplando todos os mananciais que abastecem Salvador, haja uma maior sensibilidade do sistema como todo à redução do consumo per capita e controle de perdas.

Paralelamente, a sensibilidade em relação à redução da demanda deste sistema poderá ser intensificada em longo prazo (2040-2100), pois estimam reduções das vazões afluentes maiores quando comparadas ao período de curto prazo (2011-2040).

As reduções das vazões afluentes decorrentes das mudanças climáticas encontradas neste trabalho corroboram com os resultados obtidos por GENZ *et al.* (2011) e as previsões do IPCC (2007a). Portanto, há indicativo de redução da disponibilidade hídrica da bacia do rio Paraguaçu em consequência das mudanças climáticas.

Vale ressaltar, que os resultados encontrados nesta pesquisa não podem ser vistos como uma predição de estados futuros reais, mas como a projeção de possíveis impactos. É claro que a mudança climática deve ser considerada como um dos fatores significativos que os planejadores e gestores de água

necessitam inserir no planejamento visto as possíveis reduções da disponibilidade hídrica e os custos ambientais, econômico-financeiros e que poderão ser necessários para mitigação e adaptação dos possíveis impactos.

As reduções projetadas das vazões dos rios Paraguaçu e daqueles localizados na RPGA do Recôncavo Norte deverão causar impactos significativos nos respectivos balanços hídricos, intensificando os conflitos entre os usuários destas águas, podendo comprometer o consumo humano, inclusive o Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Salvador, agrícola e industrial (Pólo Industrial de Camaçari, Refinaria Landulpho Alves da PETROBRAS, Dow Química, entre outras).

Dentre as limitações deste trabalho tem-se:

- Demandas: nos reservatórios a montante de Pedra do Cavalo os valores utilizados ainda da fase de projeto (maioria da década de 90) e de Pedra do Cavalo aqueles referentes ao Plano de Saneamento de Salvador, cujo horizonte é até 2030; em ambos os casos não há projeções de demanda para após 2030, ou seja, limitação dada pela escala de planejamento de recursos hídricos em relação aos cenários de emissões;
- AcquaNet: os valores das taxas de evaporação utilizadas foram as médias dos meses do ano, por não ser possível inserir as séries mensais destas taxas; limitação do número de casas decimais dos dados de saída; necessidade de corrigir os dados de geração de energia, uma vez que o AcquaNet não contabiliza as vazões remanescentes como oferta para geração de energia, embora destine a vazão turbinada para a vazão remanescente.
- Uso de dados de clima de apenas um cenário de emissões (A1B); as séries simuladas para o período de 1961 a 1990 foram assumidas como vazões afluentes sem efeito das mudanças climáticas;
- A utilização de uma série única para cada situação climática, de onde a sequência dos eventos (mesmo com magnitude similar) influi nos cálculos dos índices de desempenho;

- A utilização do indicador de sustentabilidade sem que haja uma ponderação dos demais índices.

Como recomendações de pesquisas futuras sugere-se:

- Simulações no modelo de rede de fluxo utilizando séries de vazões determinadas por meio de simulações hidrológicas de outros cenários climáticos e/ou de outros modelos climáticos;
- Utilização de modelos de geração estocástica de séries sintéticas das vazões afluentes sem e com efeitos das mudanças climáticas;
- Projeção e simulação de outros cenários de demanda em que outras medidas de redução possam ser inseridas tanto nos sistemas de abastecimento de água como de irrigação – usos mais expressivos na bacia do rio Paraguaçu;
- Simulações destes cenários de modo a avaliar: a qualidade das águas e custos econômico-financeiros;
- Simulações considerando os demais reservatórios que abastecem Salvador.

10 REFERÊNCIAS

- AMORIM, Flávia Bezerra. **Impacto da Adoção de Vazões Ecológicas no Baixo Curso do rio São Francisco sobre a Geração Hidrelétrica**. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia. 114p. 2009.
- ANDRADE, Paulo Romero Guimarães Serrano. CURI, Wilson Fadlo. CURI, Rosires Catão. **Índices de Sustentabilidade na Simulação da Operação do Reservatório de Pedra do Cavalo - BA: um estudo para compatibilização entre diversos usos da água e a hidroeletricidade**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos / 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2007, São Paulo. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2007.
- ANDRADE, Paulo Romero Guimarães Serrano. **Estudo para Alocação Ótima das Águas de um Sistema de Reservatórios em Série e em Paralelo, para Usos e Objetivos Múltiplos, na Bacia Do Rio Capibaribe, PE**. Tese (Doutorado). Programa de Doutorado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2006a.
- ANDRADE, Paulo Romero Guimarães Serrano. **Simulação da Operação do Reservatório de Pedra do Cavalo - BA, Para Múltiplos Usos, Considerando-se Níveis de Alerta: Contribuições Para Balizamento do Termo de Permissão de Uso e Operação do Aproveitamento Hidrelétrico**. In: VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gravatá - PE. 2006b.
- ARNELL, Nigel W. **Climate Change and Water Resources in Britain**. Climatic Change 39: 83–110. 1998.
- BALTAR, Alexandre Moreira. **Sistema de Apoio à Decisão para Avaliação Econômica da Alocação de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia da Barragem do Rio Descoberto**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 2001,
- BARBIERI, Alisson Flávio. *Et. al.* **Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050**. 200-.
- BARNETT, Tim. *Et al.* **The effects of climate change on water resources in the west: ntroduction and overview**. Climate Change, 62, 1–11. 2004.
- BENETTI, Antônio D. LANNA, Eduardo. COBALCHINI, Maria Salete. **Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH, v. 8, n. 2. Pag. 149 – 160. 2003.
- BOYER, Claudine. VERHAAR Patrick M. G. ROY, Andre. BIRON, Pascale M. MORIN, Jean. **Impacts of environmental changes on the hydrology and sedimentary processes at the confluence of St. Lawrence tributaries: potential effects on fluvial ecosystems**. Hydrobiologia. 647:163–183. DOI 10.1007/s10750-009-9927-1. 2010.
- BONTE, Matthijs. ZWOLSMAN, John J.G. **Climate change induced salinisation of artificial lakes in the Netherlands and consequences for drinking water production**. Water Research. 44. 4411 e 4424. 2010.
- BORGES, E. J. B. **Análise da micromedição do volume de água potável domiciliar e sua influência no cálculo das perdas no sistema de distribuição**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil. Universidade Federal de Uberlândia. 88 p. 2007.
- BRAGA, C. F. C. RIBEIRO, M. M. R. **Avaliação por Múltiplos Critérios e Decisores de Alternativas de Gerenciamento da Demanda de Água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 1, p. 37-49. 2006.
- BRANDES, Oliver M. BROOKS, David B. GURMAN, Stephen. **Why a Water Soft Path, and Why Now**. In: _____ . **Making the Most of the Water We Have: The Soft Path Approach to Water Management**. 1ª ed. Londres . Cap. 1, p.. 3-22. Reino Unido, 2009.
- BROOKS, David B. HOLTZB, Susan . **Water soft path analysis: from principles to practice**. Water International. Vol. 34, No. 2, 158–169. 2009.

- BROOKS, David B. **Water demand management: Conceptual framework and policy implementation**. In.: Brooks, David B. RACHED, E. SAADE, M. Management of water demand in Africa and the Middle East: Current practices and future needs. IDRC. 1997.
- CAMPOS, J. N. B. et al. **Alocação e relocação do direito de uso da água: uma proposta de modelo de mercado limitado no espaço**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH, v. 7, n. 2, 2002.
- CAROLO, Fabiana. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudo das bacias dos rios piracicaba, capivari e jundiá.
- CASHMAN, A. **A watery form of sustainability**. Water and Environment Journal. Ed. 1, v. 20, p.2–6. 2006.
- CATALDI, Marcio. MACHADO, Christiane Osório. GUILHON, Luiz Guilherme Ferreira. CHOU, Sin Chan. GOMES, Jorge L. BUSTAMANTE, Josiane F. **Análise das Previsões de Precipitação Obtidas com a Utilização do Modelo ETA como Insumo para Modelos de Previsão Semanal de Vazão Natural**. Revista brasileira de Recursos Hídricos. Volume 12 n. Jul/Set 2007, 5-12.
- CHEUNG, Peter B. *Et al.*. Consumo de água. In: GONÇALVES, Ricardo Franci (Coordenador). **Uso Racional de Água e Energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap. 2, p. 36-98. 2009.
- CHRISTENSEN, J.H. *Et al.* **Regional Climate Projections**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Chapter 11, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
- COMPANHIA DE ENGENHARIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA. INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório do Grupo de Trabalho para o Planejamento e a Execução da Transferências da Operação e Manutenção dos Barramentos**. Salvador - BA. 2008.
- COLLISCHONN, W. AGRA, Sidnei Gusmão. DE FREITAS, Glauco Kimura. PRIANTE, Gabriela Rocha. TASSI, Rutinéia. SOUZA, Christopher Freire. **Em Busca do Hidrograma Ecológico**. In: Simpósio” Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa – PB. 2005.
- COLLISCHONN, W. TUCCI, C. E. M. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 6 No. 1. 2001.
- COLLISCHONN, Walter. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 270p. Porto Alegre. 2001.
- CORRAL-VERDUGO, V. **Determinantes psicológicos e situacionais do comportamento de conservação de água: um modelo estrutural**. Estudos de Psicologia, n. 8, p. 245-252. 2003.
- DI BERNARDO, Luiz. DANTAS, Angela Di Bernando. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Vol 1. Editora Rima, p. 9. 2005.
- DIBIKE, Y. B. COULIBALY, P. **Validation of hydrological models for climate scenario simulation: the case of Saguenay watershed in Quebec**. Journal Hydrological Processes, 21, 3123–3135. 2007.
- FARIA, Alessandra da Silva. **Alocação Ótima dos Recursos Hídricos através da Aplicação de um Modelo de Rede de Fluxo**: Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental Urbana. Escola Politécnica. 216p. Salvador. 2003.
- FARIA, Alessandra da Silva. KIPERSTOK, Asher. MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. BERETTA, Magda. **Aproximação dos Conceitos de Gestão de Recursos Hídricos e Produção Limpa, Utilizando a Abordagem Gestão de Demanda**. In.: I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental - I COBESA. Salvador. 2010.

Garcia, Ana Paula Arruda de Almeida. **Fatores Associados ao Consumo de Água em Residências de Baixa Renda**. Dissertação (Mestrado). Programa De Pósgraduação Em Engenharia Industrial. UFBA. Salvador, 2011.

GARCIA, Ana. *Et al.* **Consumo domiciliar e uso racional da água em áreas de baixa Renda: pesquisa de opinião**. In.: I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. 2010.

GARCIA, Ana. KIPERSTOK, Asher. **Fatores Determinantes do Consumo de Água em Residências de Baixa Renda: Estudo de Caso**. In: XXXII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS. Punta Cana. 2010.

GENZ, Fernando. Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo sobre a Circulação Estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia. 2006

GENZ, Fernando. TANAJURA, Clemente Augusto Souza. DE ARAÚJO, Heráclio Alves. **Impacto das Mudanças Climáticas nas Vazões do Rio Pojuca sob o Cenário A2 do IPCC - 2070 a 2100**. In.: I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. 2010.

GENZ, Fernando. TANAJURA, Clemente Augusto Souza. DE ARAÚJO, Heráclio Alves. **Impacto das mudanças climáticas nas vazões dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande – cenários de 2070 a 2100**. Bahia análise & dados, Salvador, v. 21, n. 24, p.807-823, out./dez. 2011. INSS 0103 8117.

GIBSON, C. A. *Et. al.* **Flow Regime Alterations Under Changing Climate in Two River Basins: Implications for Freshwater Ecosystems**. River Research and Applications.v. 21, p. 849–864. 2005.

GLEICK, P. H. Basic **Water requirements for human activities: meeting basic needs**. Water International, v. 21, p. 83-92. 1996.

GLEICK, P. H. **Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century**. Science 302:524–528.2003.

GLEICK, Peter H. LOH, Penn. GOMEZ, Santos V. MORRISON, Jason. **California water 2020: a sustainable vision**. Pacific Institute Report, Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security. Oakland, California, USA. 1995.

GLEICK, Peter H. **Roadmap for sustainable water resources in southwestern North America**. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, v. 107, n. 50. 2010.

GLEICK, Peter H. **Water in crisis: paths to sustainable water use**. Ecological Applications 8:571–579. 1998.

GLEICK, Peter H.. **Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs**. Water International, 21, 83 – 92. 1996.

Gleick, Peter H. **Water Conflict Chronology List**. Disponível em: <http://www.worldwater.org/conflict.html>. Acessado em: janeiro 2011.

GOMES, Airton Sampaio. MORAES, Hugo Tomaz Neto. JEROZOLIMSKI, Tobias. **Perdas reais em sistemas de abastecimento de água: avanços necessários no caso brasileiro**. In.: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte – MG. 2007.

GULARTE, Cristiano Bittencourt. **Um Estudo sobre a Submedição em Hidrômetros para Aplicação no Controle das Perdas Aparentes no Sistema de Abastecimento de Água de Blumenau**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Pag. 138. 2005.

GUMIER, Carlos César. **Aplicação de modelo matemático de simulação otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Unicamp. Pag. 160. 2005.

HAAS, Juliana. MINE, Miriam Rita Moro. Avaliação das Previsões Meteorológicas Quantitativas de Precipitação Geradas pelos Modelos ETA (CPTEC) e MBAR (INMET). In.: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz de Iguaçu-PR. 2002

HAMBIRAA, W.L. MOALAFHI, D. B. MULALE, K. **Water Demand Management in Botswana: Reflections on the latest review of Botswana National Water Master Plan.** Disponível em: <http://www.bscw.ihe.nl/pub/bscw.cgi/d2606897/Moalafhi-Hambira.pdf>. Acessado em: janeiro 2011.

HASHIMOTO, T., STEDINGER, J., LOUCKS, D. P. **Reliability, Resilience and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation.** Water Resources Research. Vol. 18. N 1. P 14-26. 1982.

HOUSE-PETERS, Lily. PRATT, Bethany. CHANG, Heejun. **Effects of Urban Spatial Structure, Sociodemographics, and Climate on Residential Water Consumption In Hillsboro, Oregon.** JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION. Vol. 46, No. 3. 2010.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2007a) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** 18pp. 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2007a). **Climate Change 2007: Climate change and water.** IPCC Technical Paper VI. 2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2007b) Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers.** 23 pp. 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (c). **Climate Change 2007-The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 21p. Paris. 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis.** Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 94 p. Paris. 2001.

KIRSHEN, Paul. RUTH, Matthias. ANDERSON. William. **Interdependencies of urban climate change impacts and adaptation strategies: a case study of Metropolitan Boston USA.** Climatic Change. 86:105–122. 2008.

KJELDSSEN, T. R., ROSBJERG, D. **A framework for assessing the sustainability of a water resources system.** International Association of Hydrological Sciences (IAHS), Publ. no.268, p. 107-113. 2001.

Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões- LabSid. **Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídrico: Manual.** Universidade de São Paulo. 2002.

LADO, Cleophas. **Socio-economic factors influencing sustainable water supply in Botswana.** GeoJournal. Jan;41(1):43-53. 1997.

LAMBERT, A.; MYERS, S.; TROW, S. **Managing Water Leakage – Economic and Technical Issues.** Financial Times, London, 1998.

LANNA, A. E. L. **Modelos de Gerenciamento das Águas.** A Água em Revista (CPRM), Rio de Janeiro, v. 5, n. 8, p. 24-33, 1997.

LIEMBERGER, R. **Do you know how misleading the use of wrong performance indicators can be?** In. Seminário Internacional sobre programas de redução e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. Recife. 2002.

LIMA, H. V. C. **Análise da Operação de Sistemas de Reservatórios Utilizando Lógica Difusa, Redes Neurais, Artificiais e Sistema Neuro-Difuso.** Dissertação (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

LIMA, H. V. C. **Operação “ótima” de sistemas de reservatórios: aplicação ao sistema da Região Metropolitana de Fortaleza.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

LOUCKS, D.P. **Quantifying trends in system sustainability.** Hydrological Sciences Journal, 42(4): 513–530. 1997.

- LOUCKS, D.P. STAKHIV, E.Z. MARTIN, L.R. **Sustainable water resources management**. Journal of Water Resources Planning and Management. 126(2): 43–47. 2000.
- MARENGO, José A. Et al (b). **Assessment of regional rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM**. Climate Dynamic. V.21, p.459-475. 2003.
- MARENGO, José A. Et al. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: Análise Conjunta Brasil-Reino Unido sobre os Impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil e o Met Office Hadley Centre (MOHC) do Reino Unido. 2011.
- MARENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2ª edição. 2007.
- MARENGO, José A. SOARES, W (b). **Impacto das Modificações da Mudança Climática: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC**. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, pp 209-233.2003.
- MATOS, Jennifer C. C. T. **Proposição de Método para Definição de Cotas Per Capita Mínimas de Água para Consumo Humano**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 2007.
- MEANS III, Edward. Et al. **Decision Support Planning Methods: Incorporating Climate Change Uncertainties into Water Planning**. Water Utility Climate Alliance White Paper. United States. 2010.
- MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. **Análise dos Impactos das Mudanças Climáticas em Região Semi-árida**. Revista brasileira de Recursos Hídricos. V. 8, n.2, p. 127–136. 2003.
- MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. Et al. **Relatório do Projeto Gerenciamento de Recursos Hídricos do Semi – Árido do Estado da Bahia. Subprojeto Sistema de Apoio a Decisão para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraguaçu**. Volume III. Capítulo 7. Salvador – Bahia. 2004.
- MAFRA, Rubens Lessa. *Publicação eletrônica* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rubens.mafra@gmail.com> em 11 nov. 2011.
- MELLER, A. ALLASIA, D. G. COLLISCHONN, W. TUCCI, C. E. M. **Sensibilidade do regime hidrológico de bacias hidrográficas à variabilidade de precipitação**. In. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa – PB. 2005.
- MELLER, A. ALLASIA. **Modelo Hidrológico da Bacia do Alto Paraguai**. Dissertação (Doutorado) Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 195p. 2006.
- Ministério das Cidades. **Termo de referência para elaboração de estudos de Concepção e projetos de engenharia para os Sistemas de abastecimento de água - diretrizes e parâmetros - Estudos e Projetos – 2011**. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/ministerio-das-cidades/sistematica-2007/sistematica-pac-2/secretaria-nacional-de-saneamento/TR%20-%20EPSAA%20-%20EC_Proj%20baa1sico%20e%20executivo_2011.pdf. Acessado em 17 de abril de 2011.
- MIRANDA, Ernani Ciríaco de. **Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas e Metodologias para Análise de Confiabilidade**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. UNB – DF. 215 p. 2002.
- MOORE, Karen. Et al. **Effects of warmer world scenarios on hydrologic inputs to Lake Mälaren, Sweden and implications for nutrient loads**. Hydrobiologia. 599:191–199. 2008.
- MORAES, Luiz Roberto Santos. **Fatores Determinantes de Consumo Per Capita de Água em Assentamentos Humanos em Áreas Peri-Urbanas: Estudo e Caso**. In: congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Salvador. 1995.

- MYSIAK, Jaroslav. HENRIKSON, Hans Jorgen. SULLIVAN, Caroline. BROMLEY, John. Pahl-Wostl, Claudia. **The Adaptive Water Resource Management Handbook**. Earthscan, London, UK. 2010.
- NASCIMENTO, N. O. HELLER, L. **Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 36-48. 2005.
- NEGRISOLLI, R. K. (2009). **Análise de dados e indicadores de perdas em sistema de abastecimento de água – Estudo de caso**. Campo Grande. 191p. Dissertação (Mestrado). UFMS, Brasil. 2009.
- NERI, Marcelo Cortes. **A Nova Classe Média: O Lado Brilhante dos Pobres (The Bright Side of the Poor)**. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Economia /Fundação Getulio Vargas. 2010.
- NOBRE, Carlos A. Et. al. **Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de Metropolitana de São Paulo**. Sumário Executivo. 2010.
- NOBRE, Carlos A; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luis. **Mudanças climáticas e Amazônia**. Cienc. Cult., São Paulo, v. 59, n. 3, Sept. 2007. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252007000300012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 Maio 2011.
- O'HARA, Jeffrey K. GEORGAKAKOS, Konstantine P. **Quantifying the Urban Water Supply Impacts of Climate Change**. Water Resour Manage. V. 22, p. 1477–1497. 2008.
- PAHL-WOSTL, Claudia. **Requirements for Adaptive Water Management**. Institute of Environmental Systems Research (USF), University of Osnabrück, Germany. 2007.
- PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. **DTA - Documento Técnico de Apoio nº A2 – Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Versão Preliminar. Brasília – DF. 2003.
- PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. **DTA - Documento Técnico de Apoio nº D3 Micromedição**. Coord. Wolney Catilho Alves. Brasília – DF. 2004.
- PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. **Guias Práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água**. Coord. Airton Sampaio Gomes. Brasília: Ministério das Cidades, SNSA. 2007
- POLEBITSKI, Austin S. PALMER, Richard N. WADDELL, Paul. **Evaluating Water Demands under Climate Change and Transitions in the Urban Environment**. Journal of Water Resources Planning and Management, Volume 137, Issue 3, p.249. 2011.
- Porto, Claudio. Et al. **Quatro cenários para o Brasil 2005 – 2007**. Macroplan. 2005.
- LISBOA NETO, H. PORTO, R. L. L. ZAHED FILHO, K. MELLO JUNIOR, A. V. CARVALHO, M. A. MARCELLINI, S. S. ZAMPROGNO, D. BLUME, L. CAVALCANTI, R. . **Sistema de suporte a decisão em engenharia de recursos hídricos - desenvolvimento piloto para as bacias dos rios Paraguaçu e Itapicuru, no Estado da Bahia**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, PB. 2005.
- PORTO, R. L. L. ROBERTO, Alexandre Nunes ; SCHARDONG, André ; MELLO JR, Arisvaldo Vieira ; TEIXEIRA, Celimar Azambuja ; OLIVEIRA, Cristiano de Pádua Milagres ; CASTRO, H. L. ; LISBOA NETO, Honório ; PALOS, José Carlos ; ZAHED FILHO, Kamel ; PORTO, Monica F A ; CARVALHO, M. A. ; MARCELLINI, Silvana Susko . **Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos**. In: Rui Carlos Vieira da Silva. (Org.). Métodos Numéricos em Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2003, v. 6, p. 93-240.
- PURKEY, David R. HUBER-LEE, Annette. YATES, David N. HANEMANN, Michael. HERROD-JULIUS, Susan. **Integrating a climate change assessment tool into stakeholder-driven water management decision-making processes in California**. Water Resour Manage. 21:315–329. DOI 10.1007/s11269-006-9055-x. 2007.
- RADIF, Adil Al. **Integrated water resources management (IWRM): an approach to face the challenges of the next century and to avert future crises**. Desalination 124. 145–153. 1999.

RAVANELLO, Mariane Morreira. **Análise Técnica, Legal, e Social para Subsídio à Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí – RS.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2007.

REDE BRASILEIRA de PESQUISAs sobre MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS – REDE CLIMA. **Relatório de Atividades da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais.** 2009.

REIS, Alberto Assis. **Definição de Metodologias Apropriadas para a Determinação da Vazão Ecológica na Bacia do rio Pará, em Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós – Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG. 191p. 2009.

RIBEIRO NETO, Alfredo. **Simulação Hidrológica Na Amazônia: Rio Madeira.** Dissertação (Doutorado). Programas de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do rio de janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 195p. 2006.

ROBERTO, A. N. PORTO, R. L., **Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica.** In.: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, ABRH, 1999.

ROBERTO, Alexandre Nunes. **Modelos de Rede de Fluxo para Alocação da Água entre os Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 116p. São Paulo. 2002.

RUTH, Matthias. BERNIER, Clark. JOLLANDS, Nigel. GOLUBIEWSKI, Nigel. **Adaptation of urban water supply infrastructure to impacts from climate and socioeconomic changes: the case of Hamilton, New Zealand.** Water Resour Manag 21:1031–1045. 2007.

SAHELY, Halla R., KENNEDY, Christopher A. ADAMS, Barry J. **Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems.** Canadian Journal of Civil Engineering, 32, 72-85. 2005.

SALATI, Eneas. *Et. al.* **Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Relatório 4 Tendências de Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI.** Ministério do Meio Ambiente. 2007.

SANCHEZ, D.C. Estudo para caracterização da demanda urbana de água no setor residencial da cidade de São Paulo. 2007. 166 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politecnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SANTOS, Andréa Souza. **Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semi-árido da Bahia.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós – Graduação em Desenvolvimento Sustentável. UNB. 153p. Brasília – DF. 2008.

SCHAEFFER, R. et. al. **Mudanças Climáticas e Segurança Energética no Brasil.** Rio de Janeiro RJ. Junho, 2008.

SCHARDONG, André. **Aplicação de técnicas de Programação Linear e extensões para otimização da alocação de Água em Sistemas de Recursos Hídricos, utilizando métodos de Pontos Interiores.** Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 143p. 2006.

SCHARDONG, André. MÉLLO JÚNIOR, Arisvaldo V. ROBERTO, Alexandre N. PORTO, Rubem La L. **Desempenho do Modelo AcquanetXel na Alocação de Água m Sistemas de Recursos Hídricos Complexos.** Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.4, p.705-715. out./dez. 2009

SEDUR, Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Bahia. **Estudos de Aproveitamento dos Mananciais da RMS – Revisão e Atualização das Proposições do Plano Diretor de Abastecimento de Água, Incluindo o rio Pojuca, e Visando o Uso Racional dos Recursos Hídricos Regionais - Estudo de Demandas.** Relatório 1100.11-REL. EST. DEMANDAS-00. 73p. Salvador. 200?.

SEROA DA MOTTA, Ronaldo. **Padrão de Consumo, Distribuição de Renda e o Meio ambiente no Brasil.** Rio de Janeiro: IPEA (Texto para Discussão, 856). 2002.

SETIN, Secretaria Municipal dos Transportes Urbanos e Infraestrutura de Salvador. **Plano Municipal de Saneamento Básico. 1ª Etapa – Diagnóstico da Situação do Saneamento Básico de Salvador**. Serviços de Água e Esgotamento Sanitário. Salvador. 260p. 2010.

SILVA, Benedito Cláudio da. **Previsão Hidroclimática de Vazão para a Bacia do rio São Francisco**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.

SILVA, Benedito Cláudio. COLLISCHONN, Walter. TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Simulação da Bacia do rio São Francisco através do Modelo Hidrológico MGB-IPH**. In. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luís. 2004.

SILVA, Benedito Cláudio. COLLISCHONN, Walter. TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. CLARKE Robin Thomas. CORBO, Martin Delgado. **Previsão Hidroclimática de Vazão de Curto Prazo na Bacia do Rio São Francisco**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 12 n.3. P. 31-41. 2007.

SILVA, Benedito Cláudio. **Previsão Hidroclimática de Vazão para a Bacia do rio São Francisco**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.

SILVA, R. T. **Pesquisa em saneamento: elementos para uma tecnologia socialmente inclusiva**. Parcerias Estratégicas (Brasília), Brasília, v. 20, n. 20, p. 387-420, 2005.

SIMONOVIC, S. P.. **Measures of sustainability and their utilization in practical water management planning**. International Association of Hydrological Sciences (IAHS), P. 268, p.3-16. 2001.

SIQUEIRA JÚNIOR, José Lázaro de. TOMASELLA, Javier. RODRIGUEZ, Daniel Andres. **Aplicação de um Modelo Hidrológico de Macro-Escala na Bacia do rio Madeira**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPQ/INPE). 2010.

SNIS – Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRERterterTERTer=29>. Acessado em: 2 de abril de 2011.

TABESH, M. ASADIYANI YEKTA, A. H. BURROWS, R. **An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems**. Water Resour Manage. V.23, p. 477–492. DOI 10.1007/s11269-008-9284-2. 2009.

THORNTON, Julian. STURM, Reinhard. KUNKEL, George. **Water Loss Control**. 2nd Ed. McGraw-Hill, New York, 632 p, 2008.

TIEZZI, Rafael de Oliveira. **Impactos da variação pluviométrica associada às mudanças climáticas sobre a geração de energia hidrelétrica na Bacia do Alto Paranapanema**. Dissertação (Mestrado). Programa Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. 2009.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 1a ed., Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade Climática e Uso do Solo sobre os Recursos Hídricos**. Agência Nacional das Águas. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Modelos determinísticos**. In: MODELOS para o gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: NOBEL/ABRH. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1), p.213-323. 1987

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora Universitária UFRGS, 1998.

VAIRAVAMOORTHY, K; MANSOOR, M. A. M. **Demand Management in developing countries**. In: BUTLER, D.; ALI MEMON, F. (Ed.). Water demand management. London: IWA Publishing, 2006. cap.8. ISBN 1-843390-78-7. 2006.

VIANA JR., Walter Pereira ; LANNA, A. E. L. **Simulação e otimização da operação de um sistema de reservatórios: bacia do rio Curu**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 63-83, 2002.

VIEGAS FILHO, J. S. **O Paradigma da Modelagem Orientada a. Objetos Aplicada a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de. Recursos Hídricos**. Dissertação

(Doutorado). Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

VIEIRA, Zédna M.C.L. RIBEIRO, Márcia M. R. **Análise de Conflitos: Apoio à Decisão no Gerenciamento da Demanda Urbana de Água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 134, n. 3, p. 239-246. 2005.

VONO, Julie A. VOISIN, Nathalie. CUO, Lan. HAMLET, Alan F. ELSNER, Marketa McGuire. PALMER, Richard N. POLEBITSKI, Austin. LETTENMAIER, Dennis P. Climate change impacts on water management in the Puget Sound region, Washington State, USA. Climatic Change. 102:261–286. 2010.

VÖRÖSMARTY, Charles J. *Et. al.* **Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth**. Science 14, v. 289, p. 284-288. 2000.

WHITEHEAD, P. G. A. *Et al.* **Review of the Potential Impacts of Climate Change on Surface Water Quality**. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 54(1) February. 2009

MILLY, P. C. DUNNE, K. A. VECCHIA, A. V. **Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate**. Nature, v.438, 347-50, 2005.

WILEY, Matthew W. PALMER, Richard N. **Estimating the Impacts and Uncertainty of Climate Change on a Municipal Water Supply System**. Journal of Water Resources Planning and Management. 239 – 246p. 2008.

XU, CHONG-YU. **Climate change and hydrologic models: A review of existing gaps and recent research developments**. Journal Water Resources Management, v. 13, p. 369–382. 1999.

YEH, W. W-G. **Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review**. Water Resources Research, v.21, n.12, p.1797-1818, 1985.

APÊNDICE A – Demandas, por reservatórios, da bacia do rio Paraguaçu

Anos	Baraúnas		Casa Branca	Apertado	Bandeira de Melo	França	São José do Jacuípe	Pedra do Cavalo
	Consumo Humano	Dessedentação Animal	Consumo Humano	Consumo Humano	Consumo Humano	Consumo Humano	Consumo Humano	Demais consumos humanos
$m^3.s^{-1}$								
2011	0,0768	0,0047	0,0009	0,0094	0,1196	0,0837	0,4464	2,3217
2012	0,0788	0,0047	0,0009	0,0098	0,1228	0,0852	0,4464	2,3439
2013	0,0808	0,0047	0,0009	0,0102	0,1260	0,0867	0,4464	2,3658
2014	0,0828	0,0048	0,0010	0,0106	0,1292	0,0882	0,4464	2,3873
2015	0,0848	0,0048	0,0010	0,0110	0,1324	0,0897	0,4464	2,4086
2016	0,0868	0,0048	0,0010	0,0114	0,1356	0,0912	0,4464	2,4296
2017	0,0888	0,0048	0,0010	0,0118	0,1388	0,0927	0,4464	2,4504
2018	0,0908	0,0048	0,0011	0,0122	0,1420	0,0942	0,4464	2,4709
2019	0,0928	0,0049	0,0011	0,0126	0,1452	0,0957	0,4464	2,4912
2020	0,0948	0,0049	0,0011	0,0130	0,1484	0,0972	0,4464	2,5114
2021	0,0968	0,0049	0,0012	0,0134	0,1516	0,0987	0,4464	2,5313
2022	0,0988	0,0049	0,0012	0,0138	0,1548	0,1002	0,4464	2,5511
2023	0,1008	0,0049	0,0012	0,0142	0,1580	0,1017	0,4508	2,5708
2024	0,1028	0,0050	0,0012	0,0146	0,1612	0,1032	0,4734	2,5903
2025	0,1048	0,0050	0,0013	0,0150	0,1644	0,1047	0,4971	2,6097
2026	0,1068	0,0050	0,0013	0,0154	0,1676	0,1062	0,5219	2,6289
2027	0,1088	0,0050	0,0013	0,0158	0,1708	0,1077	0,5480	2,6480
2028	0,1108	0,0050	0,0013	0,0162	0,1740	0,1092	0,5754	2,6671
2029	0,1128	0,0051	0,0014	0,0166	0,1772	0,1107	0,6042	2,6860
2030	0,1148	0,0051	0,0014	0,0170	0,1804	0,1122	0,6344	2,7048
2031	0,1168	0,0051	0,0014	0,0174	0,1836	0,1137	0,6661	2,7236
2032	0,1188	0,0051	0,0014	0,0178	0,1868	0,1152	0,6994	2,7422
2033	0,1208	0,0051	0,0015	0,0182	0,1900	0,1167	0,7344	2,7608
2034	0,1228	0,0052	0,0015	0,0186	0,1932	0,1182	0,7711	2,7793
2035	0,1248	0,0052	0,0015	0,0190	0,1964	0,1197	0,8097	2,7977
2036	0,1268	0,0052	0,0015	0,0194	0,1996	0,1212	0,8501	2,8161

Anos	Baraúnas		Casa Branca	Apertado	Bandeira de Melo	França	São José do Jacuípe	Pedra do Cavalo
	Consumo Humano	Dessedentação Animal	Consumo Humano	Consumo Humano	Consumo Humano	Consumo Humano	Consumo Humano	Demais consumos humanos
2037	0,1288	0,0052	0,0016	0,0198	0,2028	0,1227	0,8926	2,8344
2038	0,1308	0,0052	0,0016	0,0202	0,2060	0,1242	0,9373	2,8527
2039	0,1328	0,0053	0,0016	0,0206	0,2092	0,1257	0,9841	2,8709
2040	0,1348	0,0053	0,0016	0,0210	0,2124	0,1272	1,0333	2,8890

Demais demandas - m³.s⁻¹

Baraúnas

Irrigação – 2011 (0,095 m³.s⁻¹) e de 2012 a 2040 (1,070 m³.s⁻¹)

Casa Branca

Irrigação – 2011 a 2040 (0,809 m³.s⁻¹)

Apertado

Irrigação – 2011 (1,805 m³.s⁻¹) e de 2012 a 2040 (7,638 m³.s⁻¹)

Bandeira de Melo

Irrigação – 2011 (0,571 m³.s⁻¹) e de 2012 a 2040 (29,579 m³.s⁻¹)

Dessedentação animal – de 2011 a 2040 (0,046 m³.s⁻¹)

França

Irrigação – 2011 a 2040 (0,963 m³.s⁻¹)

Dessedentação animal – de 2011 a 2040 (0,021 m³.s⁻¹)

São José do Jacuípe

Irrigação – 2011 (0,436 m³.s⁻¹) e de 2012 a 2040 (1,036 m³.s⁻¹)

Dessedentação animal – de 2011 a 2040 (0,062 m³.s⁻¹)

Pedra do Cavalo

Industrial – 2011 a 2013 (0,915 m³.s⁻¹); 2014 a 2019 (1,256 m³.s⁻¹) e 2020 a 2040 (1,533 m³.s⁻¹)

Salvador – Figura 16

As vazões remanescentes

Constam no Tabela 10

ANEXO A – Curvas cota x área x volume

Reservatórios	Cota (m)	Área (km ²)	Volume (Hm ³)	Reservatórios	Cota (m)	Área (km ²)	Volume (Hm ³)	
Casa Branca	108	0,8	2	França	504	0,89	1,22	
	114	2,3	11		506	2,05	4,16	
	116	2,9	16		508	2,80	9,02	
	120	4,4	31		510	3,69	15,52	
Baraúnas	869	1,05	4,74		512	4,97	24,19	
	879	2,41	21,22		513	5,19	28,56	
	882	2,92	29,2		514	5,75	34,03	
	885,5	3,47	38,75		515	6,45	40,13	
Apertado	1004	23,61	1,22		516	7,16	46,95	
	1005	31,90	7,34		São José do Jacuípe	365	2,67	10,44
	1006	42,78	11,07			370	6,50	33,35
	1007	52,06	15,82			375	13,66	83,74
	1008	58,44	21,34			376	15,40	96,00
	1009	68,54	27,69			377	17,20	110,00
	1010	78,26	35,03			378	18,80	128,00
	1011	85,42	43,21			379	20,45	148,88
	1012	92,97	52,13	380		22,19	173,38	
	1013	99,97	61,78	381		24,10	198,00	
	1014	198,06	72,18	382		26,35	224,00	
	1015	117,69	83,47	383		29,10	253,00	
	1016	127,57	95,73	384		32,35	285,00	
	1017	135,58	108,89	385		36,10	319,18	
Bandeira de Melo	286	0,56	0,08	386		39,30	357,00	
	287	0,94	0,84	Pedra do Cavalo	90	65,232	1424,77	
	289	3,02	5,03		105	103,176	2660,85	
	290	3,90	8,50		106	106,424	2765,65	
	292	6,63	18,89		110	119,418	3217,34	
	293	8,73	26,57		115	141,363	3869,29	
	294	10,02	35,95		116	145,752	4012,84	
	295	12,70	47,31		120	163,307	4630,96	
	297	17,83	78,55		122	174,731	4969	
	298	19,55	97,24		124	186,154	5329,88	
	299	21,44	117,74		125,5	194,722	5615,54	