



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA USOS MÚLTIPLOS EM
RESERVATÓRIOS SOB PERIÓDICAS CRISES HÍDRICAS: ESTUDO DE CASO**

HALANA OLIVEIRA TRIGUEIRO

Campina Grande – PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

T828e Trigueiro, Halana Oliveira.
 Estimativa da disponibilidade hídrica para múltiplos em reservatórios sob periódicas crises hídricas : estudo de caso / Halana Oliveira Trigueiro. – Campina Grande, 2016.
 65 f. : il. color.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.
 "Orientação: Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão, Prof^ª. Dr^ª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga".

 Referências.

 1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Reservatório Eptácio Pessoa.
 3. Modelo WEAP. I. Galvão, Carlos de Oliveira. II. Braga, Ana Cláudia Fernandes Medeiros. III. Título.

CDU 556.18(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA USOS MÚLTIPLOS EM
RESERVATÓRIOS SOB PERIÓDICAS CRISES HÍDRICAS: ESTUDO DE CASO**

HALANA OLIVEIRA TRIGUEIRO

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Carlos de Oliveira Galvão

Co-Orientadora: Ana Cláudia Fernandes
Medeiros Braga

Campina Grande – PB

2016

Aos meus pais, Edileuza e Habacuc, ao meu irmão, Hélio, ao meu noivo, Wallison Cleyton, que sempre me incentivaram e apoiaram, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por estar sempre guiando e iluminando meus caminhos, por ter me concedido força e coragem para conseguir concluir mais esta etapa da minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais Habacuc e Edileuza, e ao meu irmão Hélio, pelo amor, confiança e incentivo nessa fase e durante toda minha vida.

Ao meu noivo, Wallison Cleyton, por toda ajuda e paciência, amor, dedicação, incentivo incansável e companheirismo acima de tudo, durante todos os dias dessa minha jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos, pela grande paciência, dedicação e orientação efetiva desse trabalho.

A minha Co-orientadora, Prof.^a Dr.^a Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga, pelos conhecimentos transmitidos, pelas opiniões, atenção e orientação efetiva desse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG – Campina Grande, pelos conhecimentos e formação que recebi durante esses dois anos.

Em especial, aos amigos Cibelle Mara, Everton John, José Roque e Simone, com quem compartilhei os momentos bons e os difíceis, que desde o começo estiveram comigo, convivendo, aprendendo, e ajudando uns aos outros.

Aos colegas de Mestrado, foi um prazer conhecê-los e conviver essa experiência com todos.

A Mestra e colega, Tereza Hellena, o meu muito obrigado, pelos dados disponibilizados para este trabalho.

Aos funcionários e colegas da Universidade Federal de Campina Grande, pelos serviços prestados.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, que financiou a bolsa de estudo.

A todos, que de maneira direta ou indireta contribuíram para a minha formação e a realização deste trabalho.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

Nesse estudo foi realizado o desenvolvimento de cenários de adaptação, com base no gerenciamento de demandas e tendências políticas e socioeconômicas, a fim de verificar a possibilidade no atendimento de usos múltiplos do reservatório Eptácio Pessoa, localizado na região semiárida do estado da Paraíba, Brasil, por meio do Modelo Água, Avaliação e Planejamento (WEAP). A geração de cenários resultou em onze diferentes opções de operação do reservatório para a série 2005-2015, que foram divididos em Atual/Referência, Otimistas e Pessimistas. Os cenários simulados no WEAP demonstram a aplicabilidade do modelo para montar um sistema de recursos hídricos em SIG e analisar esse tipo de problema através de diversas formas de apresentação. Estas características o definem como um bom auxiliador na tomada de decisões para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Sua aplicação mostrou ainda que, é possível a prática de irrigação suprida pelo açude Eptácio Pessoa, desde que seja realizada uma gestão eficiente das águas do reservatório, por meio de ações que objetivem a redução das perdas no sistema de abastecimento pelo menos a 20%, o uso de tecnologias para reaproveitamento de águas de chuva e o atendimento das demandas ser reduzido aos limites disponíveis ou, no máximo e por exigência legal, ao limite da outorga.

Palavras-Chave: Gestão de recursos hídricos. Reservatório Eptácio Pessoa. Modelo WEAP.

ABSTRACT

In this study was the development of adaptation scenarios, based on management demands and political and socio-economic trends in order to verify the possibility to service multiple uses of Epitacio Pessoa reservoir, located in the semiarid region of the state of Paraiba, Brazil, by Water Model, Evaluation and Planning (WEAP). The generation scenarios resulted in eleven different operating options from the reservoir to the 2005-2015 series, which were divided into Current / Reference, Optimists and Pessimists. The scenarios simulated in WEAP demonstrate the applicability of the model to build a system of water resources in GIS and analyze this problem through various forms of presentation. These characteristics define it as a good assist in decision making for planning and management of water resources. Its application also showed that it is possible to practice irrigation supplied by Pessoa dam, since efficient management of the reservoir water is carried out through actions that aim to reduce losses in the supply system at least 20% the use of technologies for rainwater reuse and meet the demands be reduced to the limits available, or at most and legal requirement, the grant limit.

Keywords: Water management. Epitacio Pessoa Reservoir. WEAP Model.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Curva Cota x Área x Volume do reservatório Epitácio Pessoa – PB	31
GRÁFICO 2 - Dados de vazão afluente no rio Paraíba à montante do reservatório Epitácio Pessoa – PB	37
GRÁFICO 3 - Representação das zonas de operação do reservatório no modelo WEAP – Cenário de Operação Atual.....	39
GRÁFICO 4 - Volume observado para o reservatório Epitácio Pessoa – PB....	46
GRÁFICO 5 - Demandas para Campina Grande no modelo WEAP.....	49
GRÁFICO 6 - Demandas para áreas irrigadas de Boqueirão no modelo WEAP.....	50
GRÁFICO 7 - Demandas não atendida para abastecimento de Campina Grande e áreas irrigadas de Boqueirão no modelo WEAP.....	50
GRÁFICO 8 - Confiabilidade no atendimento às demandas para todos os cenários no WEAP.....	53
GRÁFICO 9 - Volumes do reservatório para operação entre 2004 – 2015 para todos os cenários no WEAP.....	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Principais componentes de um cenário.....	26
FIGURA 2 - Bacia hidrográfica do rio Paraíba e reservatório Eptácio Pessoa.....	28
FIGURA 3 - Fluxograma representativo de utilização do modelo WEAP.....	34
FIGURA 4 - Fluxograma representativo da operação no modelo WEAP.....	35
FIGURA 5 - Mapa esquemático da bacia hidrográfica do alto Paraíba e seu rio principal.....	38
FIGURA 6 - Visualização do sistema de recursos hídricos no modelo WEAP.....	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Disponibilidades hídricas calculadas para o açude Boqueirão.....	30
TABELA 2 - Evapotranspiração potencial mensal em Cabaceiras – PB (mm).....	31
TABELA 3 - Variação Mensal (%).....	36
TABELA 4 - Cenários de adaptação para simulação no WEAP.....	44
TABELA 5 - Estimativa populacional para o município de Campina Grande.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

WEAP – *Water Evaluation and Planning*

BHNA – Binhai Nova Área

NSGA-II – Algoritmo Meta-heurístico

GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos

OEI – Otimização Estocástica Implícita

AG – Algoritmos Genéticos

ANA – Agência Nacional das Águas

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca

PERH – PB Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

SEI – *Stockholm Environmental Institute*

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Geral.....	17
1.1.2 Específicos.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	18
2.2 OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS.....	20
2.3 WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM – WEAP.....	22
2.4 TENDÊNCIAS POLÍTICAS E SÓCIOECONÔMICAS.....	24
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA.....	28
3.1.1 Abastecimento de água da cidade de Campina Grande/PB.....	28
3.1.2 As áreas irrigadas de Boqueirão.....	32
3.2. O MODELO DE SIMULAÇÃO.....	33
3.2.1 Descrição do modelo.....	33
3.2.2 Fluxograma do modelo.....	35
3.2.3 Algoritmos utilizados.....	35
<i>3.2.3.1 Locais de demanda.....</i>	<i>36</i>
<i>3.2.3.2 Bacia hidrográfica e rios.....</i>	<i>37</i>

3.2.3.3 Reservatórios.....	38
3.2.4 Dados de Entrada e Saída.....	39
3.3 GERAÇÃO DE CENÁRIOS.....	41
3.4 CONDIÇÕES INICIAIS.....	44
3.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	46
4 RESULTADOS.....	49
4.1 DEMANDAS.....	49
4.1.1 Campina Grande e áreas irrigadas de Boqueirão.....	49
4.2 RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA.....	53
5 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	58
ANEXO A.....	64
ANEXO B.....	65

1 INTRODUÇÃO

A pressão exercida sobre os recursos hídricos vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, gerando a atual crise da água no Brasil e no mundo. Isso pode ser explicado pelo crescente aumento demográfico, o desenvolvimento econômico desordenado e o uso insustentável dos recursos naturais. A demanda por água é cada vez maior, principalmente em regiões semiáridas que sofrem com a escassez hídrica.

As mudanças climáticas podem ser destacadas como um fator agravante, devido às alterações no regime hidrológico das regiões, aumentando os problemas de estresse e escassez, que comprometem a segurança alimentar. Esses fatores associados à dificuldade de implementar um planejamento e gestão dos recursos hídricos adequados acabam por gerar diversos prejuízos, como: degradação da qualidade dos mananciais (rios, lagos, reservatórios) e diminuição da disponibilidade; dificuldade de acesso à população; limitação do progresso econômico pela escassez e/ou cheias; falhas no abastecimento urbano e na geração de energia (BARROS et al., 2008; CANAVEIRA; RAPUDO, 2013; LOGAR; BERGH, 2013).

De modo geral, as dificuldades com relação ao uso da água em regiões semiáridas são bastante antigas e relevantes. A situação do semiárido nordestino é uma das mais preocupantes, pois este enfrenta o problema da variabilidade temporal e espacial das chuvas e secas recorrentes, além da multiplicidade de usos da água e falta e/ou ineficiência de políticas públicas para minimizar ou eliminar a escassez hídrica da região (BATISTA, 2013; VIEIRA; SANTOS; CURI, 2010).

Ao longo do tempo, a forma mais comum de solucionar tais questões foi a expansão da oferta através da construção de reservatórios com a finalidade de armazenar água em época de chuvas para ser utilizado nos períodos de seca. Porém, a falta de um gerenciamento eficiente desses reservatórios e demandas cada vez mais crescentes culmina em falhas no atendimento do abastecimento humano e da irrigação, especialmente. Esses problemas provocam conflitos entre os usuários e os órgãos responsáveis pela gestão, sendo ainda mais preocupantes diante de periódicas crises hídricas (secas) (BATISTA, 2013; VIEIRA, 2008).

Pensando nisso, a avaliação da potencialidade do sistema para usos múltiplos, medidas de gestão das demandas e operação ótima de reservatórios são de

fundamental importância e despertam um grande interesse no desenvolvimento de diversas metodologias que buscam minimizar os efeitos decorrentes da falta de água, estudos estes que são essenciais para garantir que as demandas atuais e futuras sejam atendidas (FARIAS, 2009).

Nesse contexto, o gerenciamento da demanda é um exemplo de metodologia de adaptação, que poderia permitir o uso múltiplo em reservatórios que sofrem com constantes épocas de escassez, por meio de medidas que almejem à eficiência, aproveitando todos os recursos disponíveis e, assim, podendo garantir o uso às gerações futuras (CANAVEIRA; RAPUDO, 2013; VIEIRA, 2008).

Diversos estudos sobre essas questões estão disponíveis para auxiliar os tomadores de decisões, por exemplo, Li et al. (2015), através do modelo de Água, Avaliação e Planejamento (WEAP) avaliam a sustentabilidade de estratégias de gestão dos recursos hídricos limitadas ao litoral do Binhai New Area (BHNA), simulando três cenários no WEAP, gerando uma série de sugestões que podem auxiliar os tomadores de decisão no planejamento e gestão dos recursos hídricos para atender as demandas futuras da região. Já Curi et al. (1997) determinou a alocação ótima para irrigação das águas do reservatório Engenheiro Arcoverde, no estado da Paraíba, usando programação linear e encontrando os valores máximos das áreas para irrigar com cada cultura.

Corroborando com estas assertivas, eis que surgem as seguintes indagações:

- *São possíveis usos múltiplos em um reservatório que coexiste com periódicas crises hídricas?*
- *Como inserir a agricultura em um reservatório que já ultrapassa os limites de retirada com abastecimento humano?*

Dentro deste escopo, esse trabalho propõe desenvolver cenários de adaptação, com base no gerenciamento de demandas e tendências políticas e socioeconômicas, com a finalidade de descobrir se o reservatório pode atender a usos múltiplos, mesmo em constantes crises hídricas. O caso de estudo é o Reservatório Epitácio Pessoa que abastece as cidades de Campina Grande e 26 sedes municipais, além de Boqueirão (Irrigação), na Paraíba, situados na região semiárida do Estado, na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba.

O Reservatório Epitácio Pessoa, também conhecido como “Açude Boqueirão”, vem sofrendo com reduções de seu volume, devido aos períodos de escassez d’água mais frequentes e pela frágil atuação do poder político e público responsável pelo gerenciamento das águas no açude, configurando períodos de crise no reservatório (FILHO et al., 2011; RÊGO et al., 2013).

Dessa forma, pode-se dizer que a principal causa dos conflitos de uso da água no Açude Epitácio Pessoa é a crise do abastecimento público (Campina Grande) versus a irrigação (Boqueirão), principalmente, pela maneira como a gestão dos recursos hídricos está e vem sendo realizada ao longo do tempo. Em outras palavras, trata-se de uma gestão deficiente, que não atende as características específicas de cada região e das águas do reservatório (FILHO et al., 2011; MACHADO, 2011; RÊGO et al., 2013).

Nesse sentido, a proposta de aplicar esse tipo de pesquisa para o reservatório, se justifica pelo fato de que essa bacia hidrográfica possui sérios problemas, principalmente, em períodos de escassez, decorrentes das limitações na sua gestão. O reservatório se encontra próximo de grandes centros urbanos, que possuem um desenvolvimento socioeconômico crescente e, portanto, de grande relevância. Os recursos hídricos da bacia atendem demandas de água para abastecimento humano e atividades agrícolas e expansão urbana. Com isso, os conflitos de uso da água são cada vez mais crescentes, principalmente, em anos de seca prolongada. Sendo assim, o gerenciamento eficiente desses recursos hídricos nesse reservatório possui caráter de urgência.

Além disso, o uso de uma abordagem baseada em cenários de adaptação pode permitir explorar os efeitos de várias mudanças no processo de gestão dos recursos hídricos para o período estudado. O modelo de alocação de água WEAP vai simular os impactos de cada cenário desenvolvido e o processo de avaliação permite realizar uma comparação entre as tendências de políticas de gestão atual e de gestão adaptativa, para períodos de chuva normal e aqueles com maior escassez. Os resultados vão permitir também inferir se o estudo de caso poderá atender aos usos das águas do reservatório para irrigação.

Um exemplo desse tipo de metodologia é o trabalho de Vonk et al. (2014), que utilizou cenários adaptativos para explorar os efeitos de vários graus prováveis de estresse hídrico. O WEAP foi usado na simulação, interligado com o algoritmo meta-

heurístico NSGA-II, com a finalidade de derivar regras de funcionamento ótimas adaptadas a cada cenário, concluindo que a estratégia de reoperação foi eficaz na redução dos impactos das mudanças nos padrões de abastecimento de água e da procura, embora tivesse sido insuficiente na restauração completa do desempenho do sistema ao período de controle.

A dissertação está estruturada em 5 capítulos, incluindo este Introdutório. No Capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica de toda a estrutura científica utilizada nessa pesquisa. No Capítulo 3 descrevem-se as etapas metodológicas do caso de estudo, o modelo de simulação utilizado e o desenvolvimento dos cenários propostos. O Capítulo 4 concentra a análise dos resultados dos cenários, com a indicação das alternativas de adaptação mais desejáveis para o atendimento de usos múltiplos. O Capítulo 5 destina-se às conclusões e recomendações.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Desenvolver cenários de adaptação, com base no gerenciamento de demandas e tendências políticas e socioeconômicas, a fim verificar a possibilidade no atendimento de usos múltiplos do reservatório Epitácio Pessoa, localizado na região semiárida do estado da Paraíba, Brasil.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver cenários de adaptação que considerem gestão da demanda e tendências políticas e socioeconômicas de escala global, nacional, regional e local;
- Investigar a operação do reservatório Epitácio Pessoa através de cenários pessimistas e otimistas no modelo Água, Avaliação e Planejamento (WEAP);
- Verificar se o uso das águas do reservatório para irrigação é sustentável.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

O planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos visam uma forma de ajustar as intervenções do homem sobre esses recursos, de modo que os aspectos sociais, ambientais e institucionais sejam inseridos e permitam a operação dos sistemas hídricos de maneira economicamente eficiente e com flexibilidade (LOUCKS; STENDIGER; HAIT, 1981). Diante disso, a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) é uma forma de incorporar esses aspectos, pois pode ser definida como:

[...] um processo sistemático para o desenvolvimento, alocação e monitoramento sustentável dos recursos hídricos nos contextos social, econômico e ambiental (CAP-NET, 2008).

Sendo assim, é fundamental que o modelo de GIRH mostre a interdependência entre a oferta e as atividades de uso da água, já que muitos dos conflitos existentes possuem uma relação direta com o tipo de uso adotado ao recurso água, dentre os quais se podem citar: água para abastecimento urbano e agrícola, que competem pelo mesmo recurso e acabam por gerar os maiores conflitos; e a água para geração de energia elétrica, regularização de vazões, etc., pelo qual uns geram recursos para outros (SANTOS, 2007; SETTI et al., 2000; VIEIRA, 2011).

Em termos de legislação brasileira sobre os recursos hídricos, a implantação do Código de Águas em 1934, através do Decreto Lei n.º 24.643, foi o primeiro grande marco. Esse código dispôs sobre: águas e sua propriedade; aproveitamento das águas; e forças hidráulicas – regulamentação da indústria hidroelétrica (BRASIL, 1934).

Naquela época, a água era tida como um recurso natural renovável voltado para o desenvolvimento industrial e agrícola no país, principalmente a produção de energia elétrica. Nas décadas seguintes, essa legislação tornou-se insuficiente diante do crescimento econômico e populacional, conseqüentemente, com o aumento das demandas por água e dos conflitos pela sua utilização. Essa questão impulsionou discussões sobre a criação de um sistema integrado e descentralizado, originando em 1997 e 2000, as leis n.º 9.433 e n.º 9.984, respectivamente (BATISTA, 2013).

A Lei n.º 9.433 de 8 de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH – 1997) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. A principal característica dessa nova lei é sua singularidade em unir os princípios fundamentais do setor, criar os instrumentos de gestão para o uso dos recursos hídricos e estabelecer princípios para os múltiplos usos. Em seu artigo 2.º, tem como objetivos:

- I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (Art. 2º da Lei 9.433; BRASIL, 1997).

E, em seu artigo 32, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, com os seguintes objetivos:

- I - coordenar a gestão integrada das águas;
- II - arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;
- III - implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- IV - planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;
- V - promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos (Art. 32º da Lei 9.433; BRASIL, 1997).

Já a Lei 9.984, sancionada em 17 de Julho de 2000, dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, que de acordo com seu artigo 3.º é uma “autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de implementar, em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos, integrando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, 2000).

A Paraíba seguindo os exemplos do Ceará e Bahia criou a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), Lei nº 6.308, de 2 de julho de 1996, com o objetivo de iniciar sua reforma política institucional da gestão dos recursos hídricos. No entanto, desde 1997 e anos subsequentes várias alterações foram realizadas na legislação de recursos hídricos do Estado, em função da necessidade de adaptação a alguns dispositivos da PNRH, mas também, devido a mudanças na estrutura administrativa do Estado.

A PERH – PB tem o objetivo de assegurar o uso integrado e racional dos recursos hídricos, promovendo o desenvolvimento e bem-estar da população do Estado da Paraíba.

Fazendo uma comparação com a Lei nº 9.433/97 temos que, a PERH – PB possui seus princípios e diretrizes baseadas na PNRH, porém o seu modelo de gestão preconiza uma gestão participativa e integrada, diferentemente, a PNRH que prega uma gestão descentralizada e participativa. Essa diferença dá-se aos aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos e reflete traços de uma cultura de gestão estatal centralizadora.

Além disso, a Lei nº 6.308/96 não considera o enquadramento dos corpos d'água em classes, de acordo com os usos preponderantes, como instrumento da Política de Recursos Hídricos, como acontece na Lei nº 9.433/97, especificando, apenas, em suas diretrizes, que “a proteção dos recursos hídricos contra ações comprometedoras da sua qualidade, quantidade e usos”.

No ano de 2005 foi criada a AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas no Estado da Paraíba), Lei nº 7.779/05, alteradas pelas Leis 7.860/05 e 8.042/06, e regulamentada pelo Decreto 26.234/05), em substituição a AAGISA – Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba. A AESA tem por objetivo o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais do Estado da Paraíba, assim como, de águas da União que ocorrem em território paraibano.

2.2 Operação de Reservatórios

A operação de um sistema hídrico consiste em determinar um conjunto de alocações de água ao longo do tempo, que tem como objetivos maximizar ou minimizar uma ou mais funções objetivos. Estas alocações dependem da quantidade de água armazenada, das demandas, das restrições do sistema, dos custos empregados na operação, e do volume de água afluente ao reservatório no futuro, o que torna este último um grande risco no processo de operação. Além do mais, quanto maior a complexidade do sistema (e.g., reservatórios de múltiplos usos), maiores são as dificuldades para o ser humano elaborar estratégias de operação, entender o funcionamento do sistema, e até mesmo simular o seu comportamento diante de regras pré-definidas (YEH, 1985; MOHAN; RAIPURE, 1992; BARROS et al., 2008).

Para isso, a utilização de ferramentas computacionais com base matemática vem sendo amplamente difundida, com vistas a simular o comportamento do sistema e ser útil na construção de regras operacionais como suporte no processo de decisão. Estas regras geralmente são estabelecidas a partir de técnicas de simulação e otimização que levam em consideração a vazão afluente, as características do sistema e políticas anteriormente desenvolvidas (BARROS et al., 2008; BRAVO; COLLISCHONN; PILAR, 2005).

Existem diferentes regras de operação, mas as principais são os volumes metas de acumulação, o zoneamento múltiplo e as curvas guia, sendo que todas possuem como objetivo indicar o armazenamento ou descarga alvo para determinados períodos de tempo, atendendo suas restrições e otimizando determinados objetivos (BRAVO; COLLISCHONN; PILAR, 2005; VIEIRA; SANTOS; CURI, 2010).

No entanto, a escolha de uma técnica ideal para operação de reservatórios irá depender das características do sistema, da disponibilidade dos dados, dos objetivos e das restrições especificadas. Em consequência, sua aplicação a sistemas hídricos simples até os mais complexos deverá proporcionar um ganho considerável no que diz respeito à capacidade de armazenamento dos reservatórios, os custos envolvidos na operação, além de auxiliar os operadores permitindo que novos critérios possam ser inseridos com mais simplicidade (BRAVO; COLLISCHONN; PILAR, 2005).

Por exemplo, Farias, Trigueiro e Kadota (2014) desenvolveram um modelo baseado em otimização estocástica implícita (OEI) e algoritmos genéticos (AG) para derivar regras mensais de operação para o reservatório que abastece a cidade de Matsuyama, Japão. O modelo OEI-AG otimizou o funcionamento do sistema hídrico para uma série de possíveis cenários de entrada, usando um conjunto de dados ótimos adquiridos, a fim de construir regras de operação discretas baseado em AG. As regras elaboradas foram menos vulneráveis do que as regras padrão de operações durante os períodos de escassez de água.

Eum, Vasan e Simonovic (2012) desenvolveram um sistema de gestão integrada de reservatórios que se adapta às mudanças nas condições climáticas. O sistema integra o modelo gerador de condições atmosféricas, K-Nearest Neighbor (K-NN), o modelo hidrológico HEC-HMS e o modelo de otimização Evolução Diferencial (DE), onde seis cenários climáticos futuros são empregados usando a bacia do Rio Alto

Tamisa no Canadá. O sistema integrado forneceu as curvas de regras de operação do reservatório ideais e refletiram as características hidrológicas de cenários climáticos futuros, sendo útil para o desenvolvimento de estratégias de adaptação às alterações climáticas para reservatórios.

Alvarez, Trudel e Leconte (2014) avaliaram o impacto das mudanças climáticas para três reservatórios utilizando uma ferramenta de gestão que integra previsões de vazão do conjunto hidrológico; um modelo de otimização estocástica; um modelo de rede neural; e um modelo de balanço hídrico. A partir de cenários climáticos atuais (1961-2000) e futuro (2041-2070) foram realizadas cinco projeções climáticas por um modelo climático regional e regras de funcionamento adaptativas dos reservatórios entraram como uma estratégia de adaptação que limitasse as enchentes na bacia e também no Arquipélago Montreal localizada a jusante da bacia hidrográfica. Isso demonstrou que a ferramenta de gestão do reservatório era um exemplo de uma estratégia sem arrependimento, por contribuir para melhorar os instrumentos atualmente disponíveis de gerenciamento dos reservatórios da bacia do rio Lièvre.

Georgakakos et al. (2012) avaliaram o valor do gerenciamento adaptativo de reservatórios contra práticas tradicionais de operação no contexto da mudança climática para o norte da Califórnia utilizando um modelo de decisão adaptativa desenvolvido para o planejamento e gestão operacional do norte da Califórnia, o sistema (vale central) dos recursos hídricos (HRC-GWRI, 2007), juntamente com um downscaling dinâmico e um sistema de modelagem hidrológica descrito no Georgakakos et al. (2012). O processo de avaliação realizou uma comparação para a resposta do sistema de água em quatro cenários simulados, pertencentes às políticas de gestão tradicional e adaptativa, além de dois conjuntos de dados hidrológicos. A política de adaptação manteve um desempenho semelhante em ambos os cenários hidrológicos, demonstrando ser uma medida de mitigação eficaz às alterações climáticas.

2.3 *Water Evaluation and Planning System (WEAP)*

O modelo de simulação *Water Evaluation and Planning System* (WEAP) foi desenvolvido pela *Stockholm Environmental Institute* (SEI) no ano de 2005. O

modelo WEAP pode ser aplicado para sistemas baseados no balanço hídrico, tanto para demandas municipais quanto agricultura (YATES *et al.*, 2005).

WEAP é um abrangente software de recursos hídricos que utiliza a gestão integrada com a hidrologia física do sistema de água orientada por prioridade. O Modelo fornece um quadro abrangente, flexível e usuário-amigável para o planejamento e análise política, que é aplicável para um sistema de água complexo, permitindo investigar as respostas de gestão alternativas para várias modalidades (clima, uso do solo e as alterações demográficas), com a ajuda de uma interface gráfica intuitiva baseada em SIG (BHAVE; MISHRA; RAGHUWANSHI, 2014; MEHTA *et al.*, 2013).

Além disso, o WEAP permite que os usuários desenvolvam o seu próprio conjunto de variáveis e equações, permitindo refinar e adaptar-se a análise de restrições e condições, possibilitando uma possível troca de dados com outros softwares, como o Excel (LI *et al.*, 2015).

WEAP tem sido usado em muitos países, como o Brasil, EUA (Califórnia, Massachusetts, Geórgia), África do Sul, Norte da África e muitos países da Ásia. Nos Estados Unidos, por exemplo, o WEAP foi utilizado para estudos dos efeitos do clima sobre os recursos hídricos e a alocação ótima entre os sítios de demanda em uma bacia hidrográfica. Com a expansão do modelo, muitos países como a África e Ásia tem incorporado o WEAP com o MODFLOW, a fim de analisar a relação entre as águas subterrâneas e águas de superfície, aliviando a pressão de irrigação agrícola. Binhai New Area é uma zona econômica na China, com uma grande quantidade de sítios de demanda, mas limitados recursos hídricos, como resultado possui um sistema de abastecimento de água e demanda complexa e bastante complicada, mas que pode ser estimado por meio do WEAP (LI *et al.*, 2015).

No Brasil, Fonseca (2008) utilizou o WEAP para estudar os efeitos do crescente fluxo turístico na demanda de água dos reservatórios que fazem parte do sistema de abastecimento da Grande João Pessoa, analisando três cenários em uma única série de vinte anos, onde a previsão hidrológica variava de muito seco a muito chuvoso. Já Herrera (2013) avaliou a disponibilidade e a qualidade da água da Sub-bacia Riacho Fundo, integrando os modelos SWAT e WEAP, criando uma variedade de cenários que auxiliassem no processo de gestão integrada dos recursos hídricos do Distrito Federal.

Mehta et al. (2013) avaliaram os potenciais efeitos das mudanças climáticas e a gestão adaptativa no abastecimento de água para irrigação na Bacia do Cache Creek, Califórnia, utilizando o WEAP para examinar três cenários de adaptação para 2099.

2.4 Tendências políticas e socioeconômicas

O crescimento populacional acelerado e as atividades econômicas impõem um aumento das demandas mundiais por água. O acesso aos recursos hídricos não ocorre de maneira uniforme, proporcionando competições por demandas e conflitos pelos direitos de uso. A poluição é outro fator que contribui diretamente para o aumento da escassez hídrica, já que reduz a qualidade e, conseqüentemente, a quantidade de água disponível para outros usos preponderantes. Nesse sentido, os sinais de degradação estão cada vez mais claros e ameaçam a segurança hídrica das bacias hidrográficas, ficando evidente a necessidade de mudar essas tendências socioeconômicas que beiram a exaustão (CAP-NET, 2008; MEDEIROS et al., 2011).

Como a água é um recurso necessário para o desenvolvimento, mas também vulnerável a este, a sua gestão seria uma maneira eficaz de assegurar o atendimento dos serviços ao longo do tempo, por meio de uma abordagem que integre desenvolvimento socioeconômico e diferentes usos com proteção dos ecossistemas naturais. Porém, as tendências políticas atuais apontam para uma deficiente gestão dos recursos hídricos, que priorizam a construção de novos reservatórios, transposição de bacias, etc., ao invés de estruturar mais eficientemente o gerenciamento das que já existem (CAP-NET, 2008).

O acesso a esse recurso é outra dificuldade. Nos países em desenvolvimento, a gestão dos recursos hídricos encontra-se na responsabilidade de diversos setores, por exemplo, no Brasil tem-se a ANA, órgão gestor das águas de domínio federal, os estados, por sua vez, também possuem seus órgãos gestores e os conflitos emergem justamente nesse ponto. Um açude construído pelo órgão federal, mas com suas águas numa Bacia de domínio estadual, onde as outorgas são determinadas pelo gestor nacional gera discussões entre os departamentos do governo que buscam defender o atendimento de seu uso, por exemplo, o setor de áreas irrigadas defende maiores demandas, o que gera conflitos com o setor de abastecimento de água potável e saneamento (CAP-NET, 2008).

No Brasil, o semiárido nordestino com suas peculiaridades hidroclimáticas levou o governo a adotar como medidas mitigadoras dos efeitos decorrentes das secas, à construção de reservatórios para garantir disponibilidade de água em períodos de escassez. Contudo, essa solução estrutural não foi suficiente para regularizar as variações de disponibilidade e possibilitar um uso regular, principalmente, pela falta de um gerenciamento eficiente desses reservatórios, que seguem modelos adotados no passado e se sustentam por meio de instrumentos legais que o legitimam. Essas tendências políticas trazem à tona o tema referente à transposição de bacias, que perdurou durante décadas nas discussões e que ao seguir o modelo de gestão praticado atualmente poderá ter o mesmo insucesso (BATISTA, 2013; REIS, 2002; VIEIRA; SANTOS; CURI, 2010).

As mudanças climáticas são outros fatores que também requerem uma gestão adequada dos recursos hídricos para que se possa enfrentar inundações e secas mais intensas. Os efeitos hidrológicos de maior relevância são variações de temperatura e precipitações, que em termos de bacia hidrográfica afetam o escoamento superficial e ocasionam, principalmente, alterações na disponibilidade hídrica e qualidade da água para atender as necessidades da sociedade. Essas mudanças não são apenas decorrentes das emissões de gases, mas também de atividades humanas como, por exemplo, desflorestamento, urbanização intensiva e aumento da exploração dos recursos hídricos (ALBUQUERQUE, 2008).

Em face desse problema, as estratégias/políticas de operação de reservatórios devem considerar todo o contexto político, socioeconômico e, também, de mudanças climáticas, pois irá permitir, por exemplo, que um sistema de reservatórios para múltiplos usos, seja realizado um acompanhamento das condições pluviométricas e dos volumes acumulados, de modo que, tenha-se dados sobre o comportamento da oferta atual e futura baseado nas águas do reservatório. Isso possibilita que em eventuais períodos de escassez, usos da água como, irrigação e piscicultura, sejam racionados, suspensos ou extinguidos, evitando perdas econômicas com preparo de solo e sementeiras. Assim, o abastecimento humano (prioritário em casos de escassez) poderá ser mantido, mesmo quando o reservatório atingir valores críticos, onde indicadores de risco de colapso funcionariam como alertas de racionamento também da água para abastecimento público (BRASIL, 2005).

Uma maneira de incorporar essas tendências é a construção de cenários que integrem todas essas variáveis. Um cenário é um estudo de potenciais projeções acerca do futuro, que tem por objetivo fornecer uma gama de informações que permitem descrever um evento e oferecer instrução e suporte no processo de tomada de decisões, no contexto atual e futuro (VIEIRA, 2008; TADEU; SILVA, 2013).

Os cenários, mesmo diante de seu grau de incerteza, permitem construir futuros alternativos favoráveis, neutros e desfavoráveis com o intuito de ter-se uma faixa de possíveis caminhos estratégicos que servirão de base aos tomadores de decisão (FAHEY; RANDALL, 1998).

De acordo com Marques (1988), na construção de um cenário, os principais componentes a serem consideradas são as variáveis relevantes ao sistema, os atores envolvidos no processo, o comportamento futuro diante das variáveis e atores, além das tendências, conforme a Figura 1.

FIGURA 1 – Principais componentes de um Cenário.



Fonte: MARQUES, 1988.

Para esse tipo de pesquisa, geralmente, optam-se por aqueles dos tipos cenários competidores, para identificar e testar alternativas plausíveis e excludentes diante das mais variadas circunstâncias. A Figura 1 possibilita pensar e desenvolver uma série de possibilidades para os cenários, considerando as tendências políticas e socioeconômicas, como: crescimento populacional e econômico, usos múltiplos da água, gestão dos recursos hídricos, gerenciamento da demanda, conflitos de usos, etc. Essencialmente, o desenvolvimento de cenários gerais que sejam baseados

nessas tendências pode ser construído considerando, por exemplo: o Plano Nacional de Recursos Hídricos, que utilizam as mesmas premissas aqui descritas; o Plano Estadual de Recursos Hídricos para a bacia hidrográfica a qual se pretende trabalhar; os cenários do Quinto Relatório sobre Mudanças Climáticas (AR5); e, estudos que sejam semelhantes ao que se pretende desenvolver.

3 METODOLOGIA

3.1 Estudo de Caso: Reservatório Epitácio Pessoa

O sistema hídrico escolhido compreende o Açude Público Epitácio Pessoa, mais conhecido como Boqueirão, localizado entre as latitudes 07°28'04" e 07°33'32" Sul e longitudes 036°08'23" e 036°16'51" Oeste. Encontra-se inserido na Sub-bacia Hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba, na região dos Cariris Velhos, com o menor índice pluviométrico do Brasil, variando entre 150 e 300 mm anuais. O clima é do tipo semiárido, quente e seco, com temperaturas que chegam a 34 °C (GALVÃO; GOMES FILHO, 2003).

O açude de Boqueirão represa as águas dos rios Paraíba do Norte e Taperoá e foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, na década de 1950, com capacidade máxima atualmente de 411.686.287 m³, constituindo a segunda maior reserva hídrica do Estado e responsável pelo abastecimento público de 26 sedes (municipais e distritais), entre elas a cidade de Campina Grande, considerada um dos maiores centros de desenvolvimento educacional, comercial e industrial do Nordeste (RÊGO et al., 2013).

A Bacia do rio Paraíba está situada no semiárido paraibano, onde estão inseridas as mesorregiões da Borborema, do Agreste e do Litoral. Na Figura 2 tem-se a localização da bacia, com destaque para suas subdivisões hidrográficas (Sub-bacia do rio Taperoá, Região do Alto, Médio e Baixo Curso do rio Paraíba), assim como, o Reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão).

FIGURA 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e reservatório Epitácio Pessoa.



Fonte: RÊGO et al. (2013).

As águas do reservatório são de domínio federal tendo em vista foi decorrente de obras da União. A Agência Nacional de Águas é o órgão responsável por emitir as outorgas de direito de uso da água e quem faz a alocação da água. Os principais usos da água no reservatório são: abastecimento humano, irrigação, piscicultura e turismo. Além de Campina Grande, Boqueirão abastece um total de 26 sedes municipais e distritais, no Estado da Paraíba, como também, tem sido utilizado pela irrigação localizada às suas margens (RÊGO et al., 2012; SILVA et al., 2014).

A disponibilidade hídrica do Açude Epitácio Pessoa mudou drasticamente desde a primeira grande crise (1998-2003) do sistema de abastecimento d'água de Campina Grande. Essa crise foi provocada pela depleção nos níveis do volume armazenado, gerando episódios de racionamento de água e uma real possibilidade de colapso no fornecimento hídrico das comunidades abastecidas pelo reservatório. Além disso, as atividades de irrigação foram suspensas juridicamente, pois não existia nenhum tipo de controle técnico na forma como eram realizadas. Nesse sentido, cabe destacar o papel da sociedade que se envolveu maciçamente através da imprensa, de representação política, do poder judiciário e das instituições técnico científicas (RÊGO; ALBUQUERQUE; RIBEIRO, 2000; RÊGO et al., 2001).

Em 2004, tem início um novo ciclo de anos chuvosos na região semiárida do Nordeste brasileiro. Esse episódio faz com que o Açude Epitácio Pessoa comece a recuperar seus volumes de armazenamento, apresentando vertimento neste ano e até 2011, com exceção de 2007 e 2010. Nesse período, a experiência com a primeira grande crise deveria servir para evitar futuros colapsos, porém os tomadores de decisão não consideraram essa possibilidade. Então, com a severa seca de 2012, o reservatório voltou a apresentar acelerados declínios do nível d'água, evidenciando a gestão deficiente dos seus recursos hídricos. Assim, a intensificação da seca em 2013, 2014 e 2015, juntamente com a falta de gestão do Açude, mais especificamente pela disparidade entre oferta segura da vazão de regularização do açude ($1,23 \text{ m}^3/\text{s}$) e as retiradas, em muito excedentes à capacidade de regularização de vazão do reservatório provocou basicamente os mesmos erros cometidos no passado, o sistema de abastecimento no Reservatório Epitácio Pessoa voltou a uma fase de racionamento, com indícios de colapso de todo o sistema hídrico (REGO et al., 2012).

O Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), através do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH – PB), e a Agência Nacional de Águas (ANA), já calcularam a vazão regularizada para o Açude Boqueirão, ver na Tabela 1. Como o PERH – PB é um documento público, construído por equipe técnica multidisciplinar, os valores nele calculado para vazão de retirada deveriam ser tomados como referência. No entanto, a ANA autoriza uma vazão outorgada à CAGEPA, através das resoluções nº 302/2012 e nº 303/2012, de 1,301 m³/s. Esse valor é maior do que a vazão calculada pelo PERH-PB (1,23 m³/s), podendo caracterizar uma operação do reservatório sujeito a falhas (RÊGO et al, 2014).

TABELA 1 – Disponibilidades hídricas calculadas para o Açude Boqueirão

Órgão/Empresa autor do estudo	Data do estudo	Garantia mensal (%)	Vazão regularizável (m³/s)
DNOCS	1958	?	2,90
AESA – PERH-PB	2006	100,0	1,23
ANA/Collischonn	2009	100,0	1,85

Fonte: RÊGO; GALVÃO; ALBUQUERQUE, 2012.

Nota-se a diferença entre os valores de vazão regularizável calculado pelos três órgãos gestores. O valor calculado pelo DNOCS foi estimado pelo volume do reservatório, na época, o qual carecia de critérios técnicos seguros e atualizados. No projeto original, a capacidade máxima de acumulação era de 536.000.000 m³, mas após alguns anos de operação, os técnicos do DNOCS detectaram erros na relação cota-área-volume e realizaram as modificações, porém sem alterar o volume máximo. Somente em 1998, que o Açude passou por um levantamento batimétrico, limitando à cota atingida pelo espelho d'água, a qual era inferior à da soleira, apresentando significativas diferenças quando comparadas as anteriores. A extrapolação dessa curva até a cota do vertedor permitiu, então, estimar a capacidade nominal que é hoje utilizada para calcular as vazões regularizáveis (RÊGO et al.,2001).

Assim, Rêgo et al. (2013) afirma que, a CAGEPA estima, indiretamente, que sua retirada total de água bruta do Eptácio Pessoa é de 1,5 m³/s. Com relação ao

uso da água do Açude para irrigar áreas dispersas ao longo de sua bacia hidráulica, 500 irrigantes utilizam, aproximadamente, 0,95 m³/s, calculados de forma indireta pelo balanço hídrico do reservatório. Estes valores diferem da disponibilidade ou vazão garantida calculada pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH, 2006), 1,23 m³/s, chegando a consumir quase o dobro da disponibilidade.

Além disso, as perdas no sistema de abastecimento desde a captação, com vazamentos nas tubulações antigas e ligações clandestinas, principalmente, pela falta de fiscalização da companhia de água chegam a um valor de 39,01% da água tratada, retirada do reservatório e que poderia ser utilizada para outros fins, caso houvesse uma redução significativa nesse valor (BRASIL, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2005).

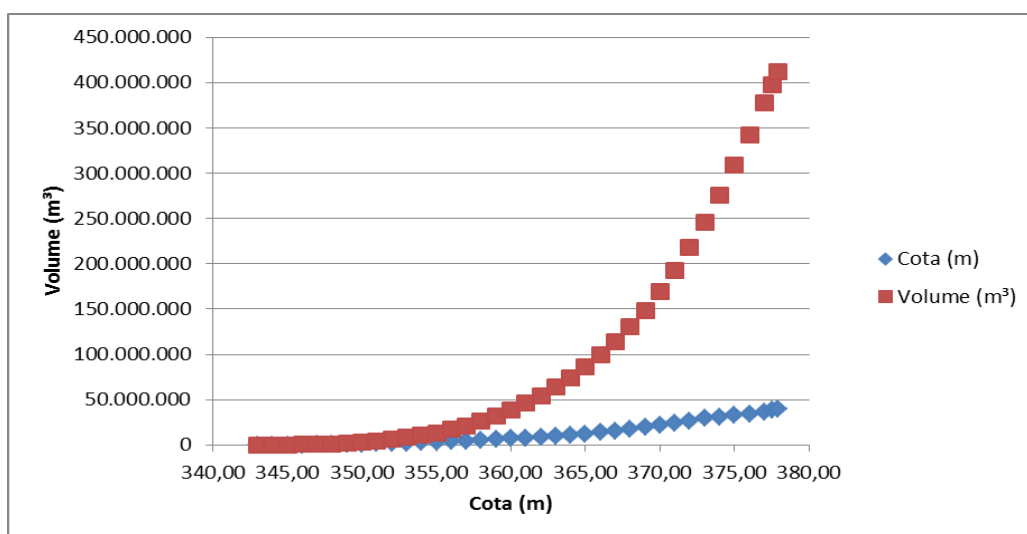
Tomando como base os dados da AESA, apresenta-se na Tabela 2 e Gráfico 1 um resumo dos dados de evaporação e curva cota x área x volume referente ao reservatório Epitácio Pessoa – PB, utilizados nessa pesquisa.

TABELA 2 – Evapotranspiração potencial mensal em Cabaceiras – PB (mm)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
204,9	156,5	161,2	171,9	124,9	93,6	119,0	147,9	177,3	196,2	210,9	203,7

Fonte: AESA, 2004.

GRÁFICO 1 – Curva Cota x Área x Volume do reservatório Epitácio Pessoa – PB



Fonte: AESA (2016).

3.1.1 Abastecimento de água da cidade de Campina Grande/PB

A cidade de Campina Grande está inserida na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, possuindo uma área total de 594 km², totalmente contida no Estado da Paraíba. É a segunda cidade em importância política e econômica, detendo, em 2010, uma população de 385.276 habitantes, com grau de urbanização de 95,33%, o que pode ser explicado pela sua posição estratégica no Estado e por ser considerado um polo de desenvolvimento econômico (IBGE, 2015; IDEME, 2011).

Inicialmente, o seu abastecimento era realizado por pequenos reservatórios (Açude Velho e Açude Bodocongó), contudo, hoje não mais, devido aos altos níveis de poluição advindos da afluência de esgotos. Em 1957, com a construção do Açude Público Epitácio Pessoa, mais conhecido como Boqueirão, no Rio Paraíba, a cidade de Campina Grande conseguiu suprir suas demandas de abastecimento (RÊGO et al., 2001).

Com a ocorrência de um grande ciclo seco nos anos de 1997-2000, o abastecimento da cidade de Campina Grande foi comprometido pelo rebaixamento no nível de água acumulada e acarretou em um rigoroso sistema de racionamento d'água, iniciado em novembro de 1998, até os primeiros meses do ano 2000. Durante a crise, estudos constataram que não existia nenhum tipo de controle técnico e/ou gerencial nos usos praticados no açude, que era gerenciado, até então, pelo DNOCS.

A partir de 2000, a ANA tornou-se Órgão Gestor das águas de Boqueirão, outorgando o uso para abastecimento à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). No entanto, a irrigação continua sendo praticada sem nenhum tipo de autorização legal. E, em 2012, quando se inicia um novo ciclo de escassez hídrica na região Nordeste do Brasil, a segurança hídrica da população abastecida por Boqueirão é novamente afetada pela gestão ineficiente do açude (SILVA et al., 2014).

3.1.2 As áreas irrigadas de Boqueirão

As áreas irrigadas em Boqueirão foram intensificadas a partir da construção do açude Epitácio Pessoa, que possuía como objetivo o atendimento inicial de demandas para irrigação e geração de energia. As principais culturas desenvolvidas nessas áreas eram feijão, milho, repolho, pimentão, banana e, principalmente,

tomate destinadas ao comércio e que culminou no aumento da produção pelo grande fluxo de pessoas locais e cidades vizinhas que se dedicavam a produção agrícola (BRITO, 2008; OLIVEIRA, 2007).

Em sua grande maioria, as terras irrigadas no entorno do reservatório Epitácio Pessoa utilizavam sistemas de sulcos por gravidade e inundações em faixas laterais, o que determinava altos níveis de perdas d'água, ou seja, um sistema ineficiente, mas que proporcionou as condições para o cultivo dessas culturas e outras (OLIVEIRA, 2007).

Entretanto, a quantidade de água utilizada foi tornando-se cada vez maior, em função do desperdício causado pela falta de manutenção das encanações, que somado aos altos índices de evaporação na região foi um dos fatores para proibição da irrigação em torno do açude no período de escassez ocorrido no final da década de 1990 (DNOCS, 2006). A falta de gerenciamento ocasionou, em 1999, a proibição da irrigação em torno do açude de Boqueirão. Essas medidas deram origem aos conflitos mais intensos pelo direito ao uso da água, por um lado a população que necessitava dos recursos para o abastecimento humano e, por outro, os camponeses e pequenos produtores que vivem da irrigação (OLIVEIRA, 2007; RÊGO et al. 2001).

Em 2004 há o retorno dos anos normais e as práticas de irrigação voltam a acontecer, mesmo sem outorga deferida pela ANA. É cada vez mais evidente que os períodos de escassez de recursos hídricos são frequentes na nossa região e o aumento substancial provocado pelo crescimento populacional e o desenvolvimento socioeconômico, interferem diretamente nas demandas por água que tendem a crescer cada vez mais. Tanto que, em 2012 inicia-se um novo período de seca na região Nordeste e essa escassez permanente afeta novamente a região, ocasionando mais conflitos pela falta de um gerenciamento contínuo.

3.2 O Modelo de Simulação WEAP

3.2.1 Descrição do Modelo

O modelo de simulação *Water Evolution and Planning System* (WEAP) foi desenvolvido pela *Stockholm Environmental Institute* no ano de 2005. WEAP é uma ferramenta de modelagem que atua baseada no balanço hídrico, permitindo uma avaliação integrada do clima de um divisor de águas, hidrologia, uso da terra, água

subterrânea, infraestrutura (barragens, desvios, etc.) e prioridades para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, com a ajuda de uma interface gráfica intuitiva baseada em SIG (MEHTA et al., 2013).

No WEAP têm-se o desenvolvimento de uma rede de nós e arcos que irão simular a demanda da água para uma zona determinada, onde se consideram as prioridades e preferências de abastecimento, além de avaliar as necessidades associadas ao recurso hídrico em questão (HERRERA, 2013; MEHTAA et al., 2013).

Basicamente, o usuário vai simular o seu sistema por meio da representação dos rios, águas subterrâneas, reservatórios, retiradas, demandas de água, por exemplo. Na Figura 3 segue os passos para utilização do modelo.

FIGURA 3 – Fluxograma representativo de utilização do modelo WEAP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

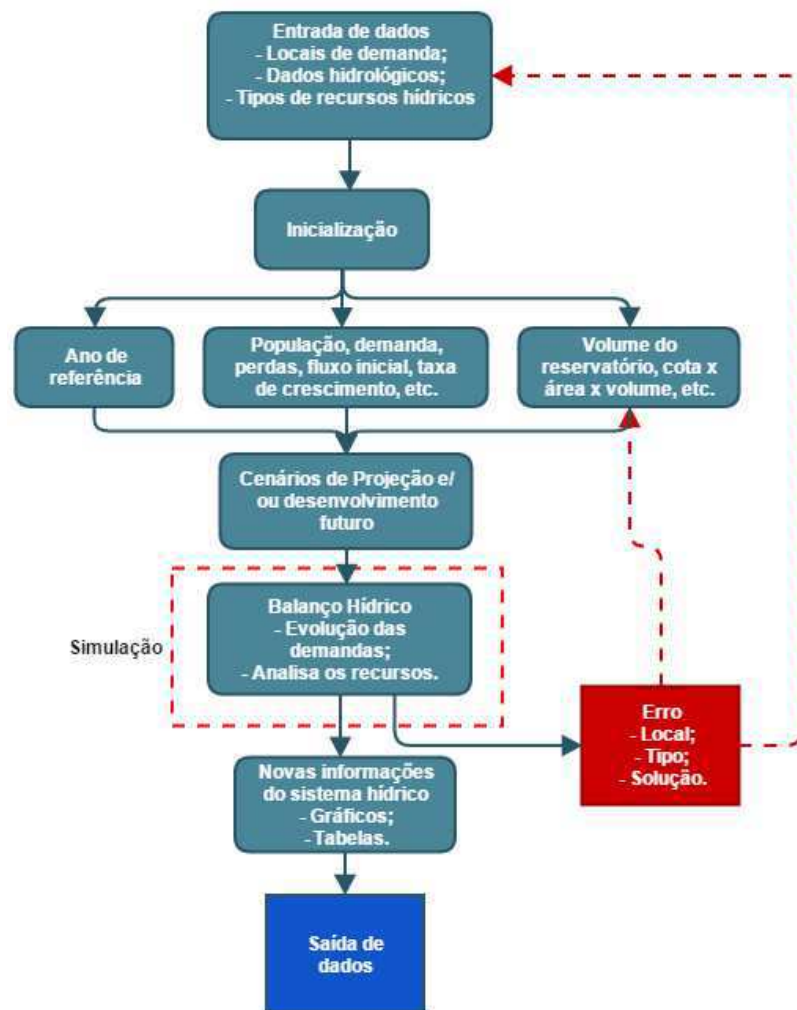
A escolha deu-se pelo fato de que o WEAP permite a criação de vários cenários para os tipos de demanda de uma bacia hidrográfica, podendo diferenciar os cenários de anos secos e chuvosos, considerar o desenvolvimento e crescimento socioeconômico da bacia hidrográfica, fornecendo informações que poderão ajudar os tomadores de decisão no planejamento dos recursos hídricos de uma determinada região. Além de ser uma ferramenta considerada de fácil compreensão

e utilização, que gera bons resultados pela quantidade de informações requeridas (FONSECA, 2008).

3.2.2 Fluxograma do Modelo

A operação do modelo WEAP pode ser resumida nas etapas apresentadas na Figura 4.

FIGURA 4 – Fluxograma representativo da operação no modelo WEAP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

3.2.3 Algoritmos Utilizados

O WEAP incorpora diversos tipos de componentes do sistema hídrico. Para essa pesquisa, os subitens seguintes detalham cada tipo de elemento utilizado e como são definidos pelo sistema de alocação de água e armazenamento no tempo.

3.2.3.1 Locais de demanda

Determina a parte física do sistema onde há consumo de água. O cálculo da demanda mensal é feito no WEAP através da Equação 1.

$$DemandaMensal = VariaçãoMensal \times AjusteDemandaAnual \quad (1)$$

onde:

Demanda Mensal: volume total de água necessária em cada mês no local onde é demandada água [m³];

Variação Mensal: fração de água consumida no mês, considerando o consumo anual 100% [%];

Ajuste Demanda Anual: produto do número total de indivíduos consumidores e o uso per capita de água no ano [m³].

Os valores utilizados neste trabalho para Variação Mensal podem ser observados na Tabela 3. Cabe destacar que os valores da Variação Mensal são proporcionais ao número de dias do mês. O Ajuste de Demanda Anual foi calculado de acordo com a Equação 2, considerando a porcentagem de perdas no Sistema de Abastecimento para cada cenário desenvolvido.

TABELA 3 – Variação Mensal (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8,5	7,7	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5

$$Ajustedemanda = q \times P - Perdas \quad (2)$$

onde:

q: - consumo *per capita*, é o volume total de água consumido por habitante no ano [m³/hab.ano];

P: população anual refere-se ao número de habitantes ou série de população em determinado local [habitantes];

Perdas: a porcentagem de água perdida entre a captação e a distribuição, por vazamentos, extravasamentos de reservatórios, furtos, etc. [%].

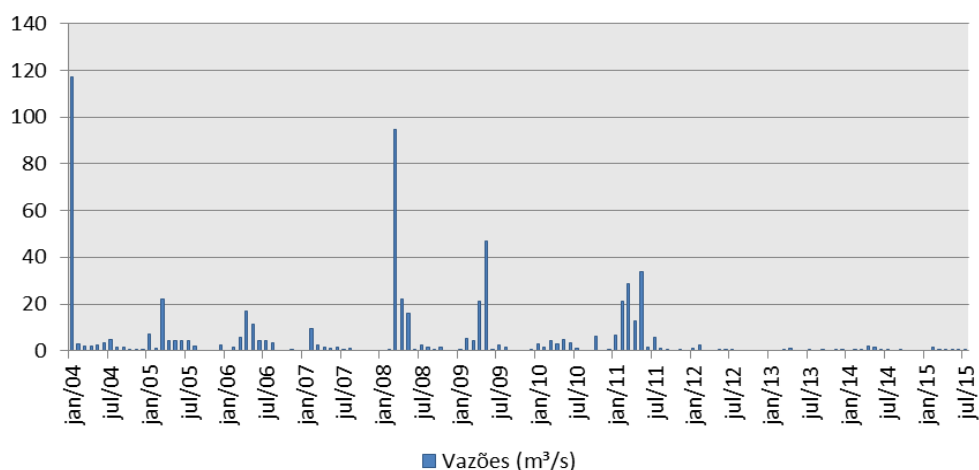
Para a irrigação, a Equação 1 também é utilizada no cálculo da Demanda Mensal, a única diferença encontra-se no Ajuste Demanda Anual, que considera um hectare de terra consumindo 1 litro de água por segundo, que anualmente equivale 31.536 metros cúbicos por ano.

3.2.3.2 Bacia Hidrográfica e Rios

A bacia hidrográfica é o local com área definida onde se especifica os processos de precipitação e sua contribuição, o fluxo inicial no rio e a evapotranspiração. Os dados de vazão de entrada observado foi obtido através da AESA, de acordo com o Gráfico 2. Os dados de evapotranspiração já foram citados anteriormente.

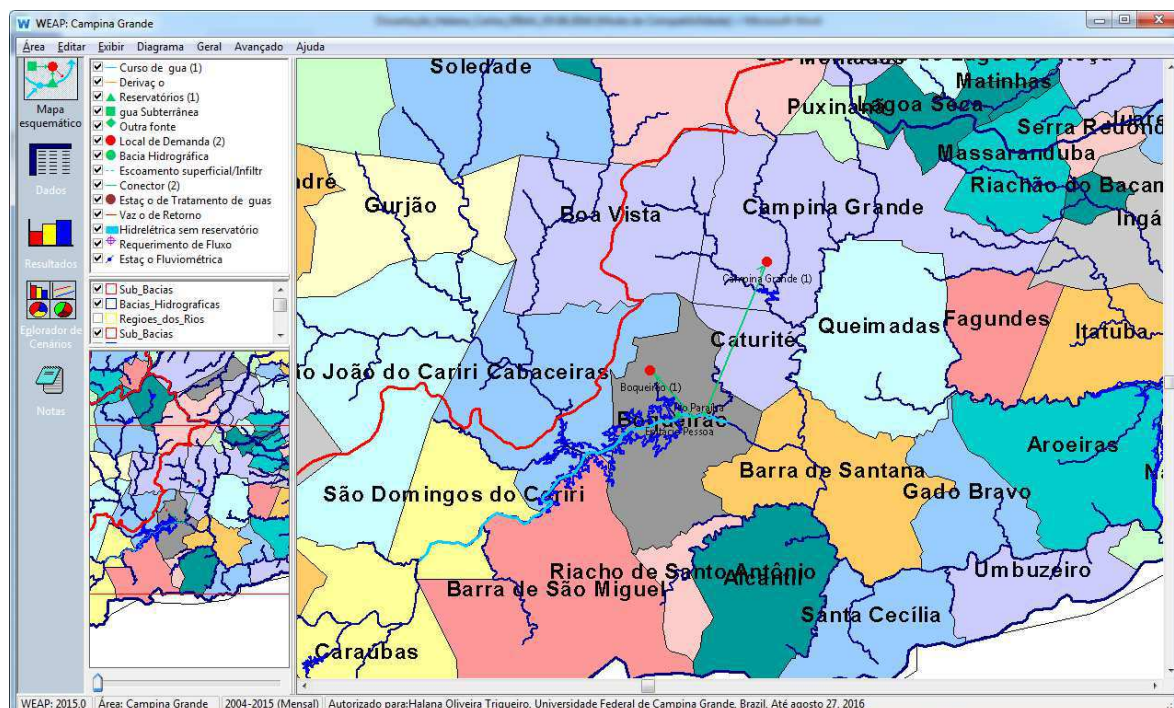
Os rios podem se conectar uns com os outros, para uma visão do rio principal e dos seus tributários. Além disso, as vazões geradas no modelo possuem uma interdependência com os parâmetros inseridos para caracterizar a bacia hidrográfica. A Figura 5 mostra como é estruturado a relação Bacia Hidrográfica e Rio principal para esta pesquisa no WEAP.

GRÁFICO 2 – Dados de vazão afluente no rio Paraíba à montante do reservatório Epitácio Pessoa – PB



Fonte: AESA (2016).

FIGURA 5 – Mapa Esquemático da Bacia Hidrográfica do Alto Paraíba e seu Rio principal.

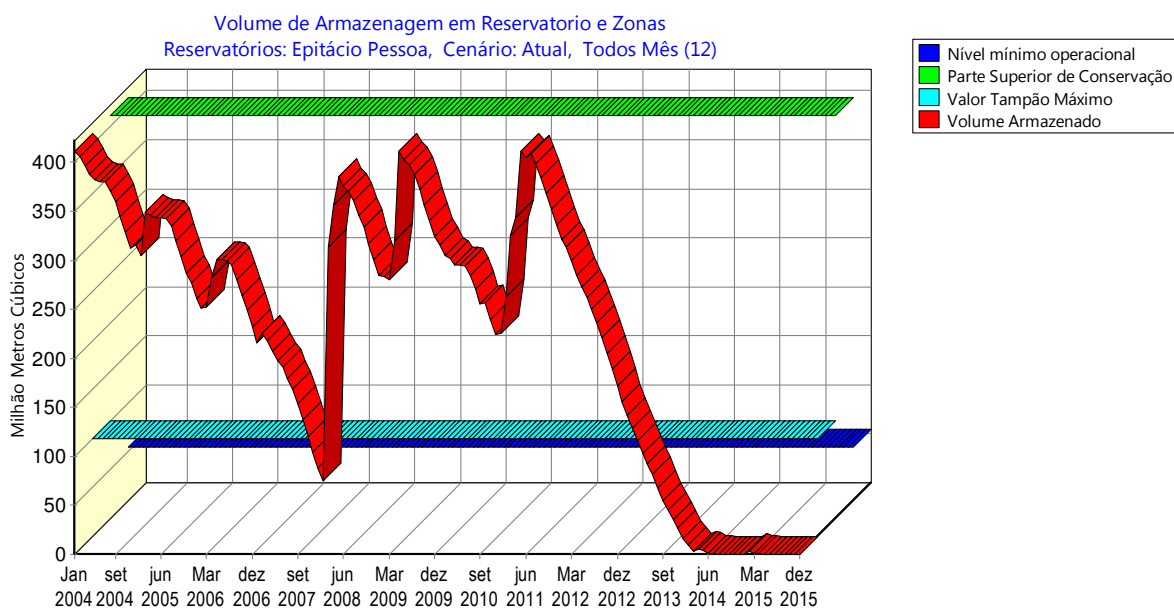


Fonte: Gerado pelo modelo WEAP (2016).

3.2.3.3 Reservatórios

Para os reservatórios é necessária a implantação de parâmetros físicos como: a capacidade total de armazenamento, a curva cota x volume e a taxa de evaporação. Na operação, o modelo necessita que sejam inseridos dados de zonas de operação do reservatório, que são pré-definidas conforme exemplo na Figura 6.

GRÁFICO 3 – Representação das zonas de operação do reservatório no Modelo WEAP – Cenário de Operação Atual.



O WEAP vai liberar água de acordo com as regras de operação anteriormente definidas pelo usuário, a fim de manter o fluxo no rio a jusante do reservatório, contando que o nível de água esteja acima do volume inativo. Ao final de um período, o volume armazenado é determinado pelo volume que se tem disponível na zona operacional acrescentando as afluições através do rio e subtraindo as retiradas das demandas que são realizadas no período.

3.2.4 Dados de entrada e saída

As informações e dados utilizados nessa pesquisa foram obtidos junto aos órgãos responsáveis pelos recursos hídricos, como: CAGEPA, AESA, ANA, DNOCS e Trabalhos Acadêmicos, para serem compilados, tratados e reordenados de acordo com a necessidade para o lançamento das informações adequadas no programa de simulação.

O modelo necessita das seguintes informações:

- Ano base para início dos cálculos;
- Tempo estimado para realização dos cálculos;
- Passo/período para a realização da simulação;

- Locais de demanda, com: crescimento anual, distribuição da água ao longo do ano; variação mensal do uso;
- Regime hidrológico dos períodos avaliados;
- Recursos e suprimentos de água: ligação entre local da demanda e reservatório, rios, aquíferos subterrâneos e ligações de retorno;
- Reservatórios: capacidade de armazenamento, taxa de evaporação, regime de operação mensal, volume máximo, volume morto.

Para os itens supracitados, um incremento de outras informações é necessário para complementar os dados e o programa expor os resultados satisfatoriamente. Os resultados do modelo de simulação WEAP são apresentados, então, através de gráficos, mapas esquemáticos e tabelas que podem ser exportadas para uma planilha do Microsoft Excel, dos quais temos:

- Demandas: demandas de água e complementar, suprimento requerido e distribuído, cobertura, local de saída e entrada de recurso, vazão requerida de montante e de montante distribuída, vazão complementar requerida de montante e vazão de cobertura;
- Suprimentos e recursos: afluxo e saída por tipo de recurso, vazão do rio, velocidade e profundidade do rio, entrada e saída de aquíferos subterrâneos, volume armazenado e elevação dos reservatórios, entradas e saídas dos reservatórios, geração de energia elétrica, vazão nos tubos de abastecimento e drenagem;
- Qualidade da água: superfície de qualidade da água, geração de poluição, carga de poluição, vazão poluidora de entrada e saída em plantas de tratamento, drenagem em plantas de tratamento e fonte de qualidade da água;
- Financeiro: taxa de custo, taxa de valor presente e média de custo da água;
- Entrada de dados: nível de atividade anual do uso da água, distribuição anual, perdas, gerenciamento da demanda, custos, etc.

3.3 Geração de Cenários

Os cenários aqui descritos são definidos para responder à pergunta “o que acontece se?”, onde cada cenário reflete as tendências políticas e socioeconômicas para operação do reservatório Epitácio Pessoa.

O Cenário de Contas Atuais no WEAP representa o ano base para início dos cálculos, posteriormente, é descrito um Cenário de Referência/Atual, com um amplo conjunto de informações sobre o sistema de recursos hídricos, que vai sendo alterado para avaliar os efeitos na área de estudo. Esses cenários consideram a política de operação atual utilizada para o Açude e o crescimento socioeconômico baseado em estudos do Plano Nacional de Recursos Hídricos e pesquisas do IBGE, IDEME e trabalhos acadêmicos sobre o tema.

Os demais cenários, também seguem essa metodologia, porém confrontam outros resultados, como: o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PB; outorgas da Agência Nacional de Águas – ANA (Resoluções nº 302/2012 e 303/2012); valores estimados de demanda pela CAGEPA; e, trabalhos acadêmicos no tema. Isso possibilita o confronto entre o diagnóstico da situação atual e as projeções das demandas sob a injunção de cenários favoráveis ou desfavoráveis.

Para isso, as variáveis relacionadas a essas mudanças são modificadas diante dos diferentes cenários, as alternativas são simuladas e tem-se o comportamento do sistema para cada cenário.

Como já citado, o ano base de Contas Atuais foi 2004, por ter iniciado um novo ciclo chuvoso na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, o período para realização das simulações consiste na série 2005 – 2015, pelo fato de abranger dois ciclos climáticos diferentes, chuvoso (2004 – 2011) e seco (2012 – 2015). Sendo assim, a construíram-se os seguintes cenários:

- **Cenário Atual/Referência:** Esse cenário é desenvolvido para representar as condições de gerenciamento atual do reservatório Epitácio Pessoa, ou seja, as tendências aqui descritas representam as políticas de operação adotadas pelos órgãos gerenciadores de atender as demandas requeridas para os diversos usos d’água, sem considerar os eventuais períodos de escassez hídrica, típicos da região nordeste, o que demonstra a total falta de controle dos usos da água do Açude, até mesmo em períodos de maior abundância. A demanda para

abastecimento da cidade de Campina Grande, com um percentual de perdas de 40%, é de 72 m³/hab.ano (Rêgo et al., 2013). A demanda para as áreas irrigadas de Boqueirão é de 31536 m³/ha.ano, para uma área irrigada de 950 hectares. Num cenário mais abrangente, o crescimento econômico internacional e nacional apresenta um decaimento devido à crise que afeta os Estados Unidos e Europa, há uma intensificação do uso dos recursos hídricos e, conseqüentemente, um aumento nos níveis de degradação desses recursos. A população também cresce, logo, a demanda por recursos hídricos aumenta;

- **Cenário Otimista 1:** Neste cenário, as demandas retiradas do Açude Epitácio Pessoa cumprem os limites estabelecido pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH – PB), com suspensão dos perímetros irrigados sem qualquer tipo de outorga. A cidade de Campina Grande recebe água através do Sistema de Abastecimento da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), sendo que, dos 100% de água consumida, um total aproximado de 40% sofre perdas entre a captação e distribuição. Dessa maneira, o consumo total considerado nessa pesquisa é de 60 m³/hab.ano;
- **Cenário Otimista 2:** Neste panorama, as demandas retiradas do Açude Epitácio Pessoa continuam a cumprir os limites estabelecido pelo PERH – PB, porém a CAGEPA vem cumprindo com seu papel e por meio de fiscalização intensa e reparos no Sistema de Abastecimento de Água consegue reduzir as perdas de água a uma taxa de 20%. Dessa maneira, Campina Grande consome um total de 79,5 m³/hab.ano. Então, como a vazão de regularização do PERH – PB é de 1,23 m³/s, os 20% de água que antes eram perdidos, poderiam ser utilizados para irrigar uma área total de 246 hectares;
- **Cenário Otimista 3:** As demandas retiradas do Epitácio Pessoa continuam a cumprir os limites estabelecido pelo PERH – PB, a CAGEPA também continua cumprindo com seu papel, mantendo as perdas em 20%. A população da cidade de Campina Grande assume um papel mais consciente, que juntamente com o incentivo dos órgãos públicos e estudos sobre reaproveitamento de água de chuva, adotam

medidas para captação desse recurso, proporcionando uma economia de 9,9% da demanda total do setor residencial, segundo dados de Souza, Galvão e Rufino (2014). A irrigação não é permitida, pois os gestores se espelham em cenários de crise hídrica já vivida, adotando um único uso para o reservatório, que demanda um total de 69,71 m³/hab.ano, retirando-se as perdas e com a economia de água;

- **Cenário Otimista 4:** Para esse caso, as características do Cenário Otimista 3 são adotadas similares, porém os usos múltiplos para o reservatório Epitácio Pessoa são considerados, obtendo-se uma demanda para abastecimento de 69,71 m³/hab.ano e permitindo uma área irrigada de 368 ha, pelas economias de água;
- **Cenário Otimista 5:** Para esse caso, a vazão retirada do reservatório segue a outorga das resoluções da ANA nº 302/2012 e nº 303/2012, no valor de 1,301 m³/s. A CAGEPA mantém as perdas no SAA em 20% e a população realiza captação de água de chuva que gera uma economia de 9,9% (SOUZA; GALVÃO; RUFINO, 2014). Essa percentagem de economia proporciona o uso da água do reservatório para irrigação de 363 hectares, de modo que, não ultrapassa os limites impostos;
- **Cenário Pessimista 1:** Esse cenário considera que a demanda para abastecimento da cidade de Campina Grande, com um percentual de perdas de 40%, é de 1,85 m³/s, segundo dados de vazão regularizada da ANA (2009), equivalente a 89,76 m³/hab.ano. A demanda para as áreas irrigadas de Boqueirão, ainda sem outorgas, é de 0,95 m³/s, para uma área de 950 hectares. A população cresce a uma taxa de 0,81% ao ano em Campina Grande, logo, a demanda por recursos hídricos aumenta;
- **Cenário Pessimista 2:** As retiradas consideram o valor outorgado pela ANA à concessionária CAGEPA, através das resoluções nº 302/2012 e nº 303/2012, de 1,301 m³/s, com um percentual de perdas de 40%. A irrigação ainda é praticada sem outorga, pois não há uma fiscalização por parte do Órgão Gestor, resultando em valores 0,95 m³/s, para uma área irrigada de 950 hectares. A população continua crescendo a uma

taxa de 0,81% ao ano em Campina Grande, logo, a demanda por recursos hídricos tende a aumentar;

- **Cenário Pessimista 3:** Esse cenário considera os valores de vazões de retiradas encontrados por Rêgo et al. (2014), que representam a média das vazões entre julho de 2013 a maio de 2014. Para abastecimento temos um consumo de 1,47 m³/s, com perdas de 40%, e para irrigação sem outorga uma média de 0,22 m³/s, com uma área de 220 hectares, cabendo destacar que nesse período o reservatório já estava operando com racionamento, então, os dados representam uma realidade temporal;
- **Cenário Pessimista 4:** As perdas de água no SAA sofrem um ligeiro aumento no Estado e no Brasil, chegando ao nível de 46,9% (SNIS, 2011). As retiradas no reservatório atendem os valores determinados pela ANA (2009) de 1,85 m³/s, com áreas irrigadas sem outorgas, no valor de 0,95 m³/s;
- **Cenário Pessimista 5:** As perdas admitidas para esse cenário são as mesmas que o Pessimista 4, porém, as retiradas no reservatório atendem o valor determinado pelas resoluções nº 302/2012 e nº 303/2012 da ANA de 1,301 m³/s, sem outorga para áreas irrigadas.

Todos os cenários aqui desenvolvidos foram simulados para o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2015. A Tabela 4 contém um resumo de todos os cenários aqui descritos.

TABELA 4 – Cenários de adaptação para simulação no WEAP.

Variáveis/Cenários	População (habitantes)	Demanda Anual (m ³ /hab.ano)	Área irrigada (hectares)	Demanda Anual (m ³ /ha.ano)	Taxa de Perdas (%)	Economia de Água (%)	Consumo (%)	Vazão Abastecimento (m ³ /s)	Vazão Irrigação (m ³ /s)
Atual	Estimada (2005-2015)	72	950	31536	40	0,0	100	1,5	0,95
Otimista 1	Estimada (2005-2015)	60	0,0	0,0	40	0,0	100	1,23	0,0
Otimista 2	Estimada (2005-2015)	79,5	247	31536	20	0,0	100	0,984	0,246
Otimista 3	Estimada (2005-2015)	69,71	0,0	0,0	20	9,9	100	1,23	0,0
Otimista 4	Estimada (2005-2015)	69,71	368	31536	20	9,9	100	0,862	0,368
Otimista 5	Estimada (2005-2015)	73,745	363	31536	20	9,9	100	0,867	0,363
Pessimista 1	Estimada (2005-2015)	89,76	950	31536	40	0,0	100	1,85	0,95
Pessimista 2	Estimada (2005-2015)	63,12	950	31536	40	0,0	100	1,301	0,95
Pessimista 3	Estimada (2005-2015)	71,322	220	31536	40	0,0	100	1,47	0,22
Pessimista 4	Estimada (2005-2015)	79,44	950	31536	46,9	0,0	100	1,85	0,95
Pessimista 5	Estimada (2005-2015)	55,86	0,0	0,0	46,9	0,0	100	1,301	0,0

3.4 Condições Iniciais

O ano base para início da simulação foi 2005. As demandas estipuladas foram

de dados de vazão regularizável estimados pelos órgãos: AESA (PERH – PB), ANA (2009) e ANA (2012) e CAGEPA. A taxa de crescimento populacional adotada de acordo com o IBGE (2011) foi de 0,81% a.a. A taxa geométrica de crescimento populacional para os anos subsequentes foi realizada pela Equação 3. Alguns dos valores são apontados na Tabela 5.

$$EstPop = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P(t+n)}{P(t)}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

EstPop: estimativa populacional

N: é o número de anos no período, por exemplo, entre 2011 e 2015 = 5;

P(t): população inicial, no começo do período, por exemplo, entre 2011 e 2015, P(t): população de 2011;

P(t+n): população final, no fim do período, por exemplo, entre 2011 e 2015, P(t+n) = população de 2015.

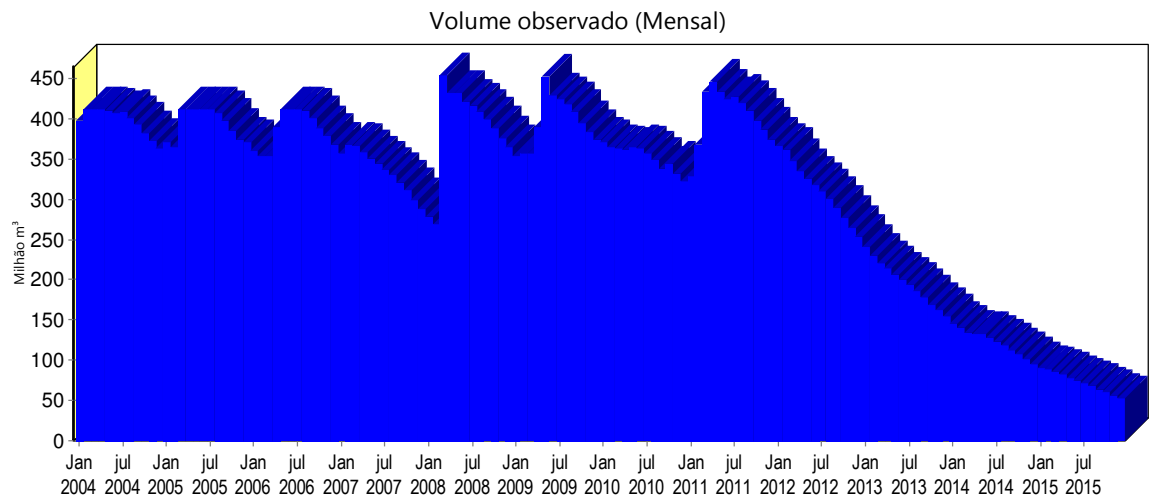
TABELA 5 – Estimativa Populacional para o município de Campina Grande.

Ano	População Estimada (habitantes)
2011	389995
2012	393154
2013	396338,5
2014	399548,8
2015	402785,2

O reservatório foi considerado como tendo volume inicial igual a 397,258 milhão de m³. Este valor foi obtido no site da AESA, que é o volume registrado no mês de janeiro para o ano de 2004, que representa o início do ciclo chuvoso. De acordo com os dados disponibilizados pela AESA, os volumes de armazenamento entre 2004 até 2015 no reservatório Eptácio Pessoa comporta-se conforme o

Gráfico 4.

GRÁFICO 4 – Volume Observado para o reservatório Epitácio Pessoa – PB.



Fonte: AESA, 2015.

O modelo de simulação WEAP necessita que sejam implantados todos os dados referentes ao sistema de abastecimento das demandas.

O abastecimento urbano da cidade de Campina Grande é atendido pelo reservatório Epitácio Pessoa: Campina Grande possuía em 2011, 389.995 habitantes. Segundo dados de Rêgo et al., (2013), a CAGEPA estima indiretamente que a demanda para abastecimento é de 1.500 l/s.

Quanto as águas destinadas para irrigação, cerca de 500 irrigantes, dispersos ao longo do perímetro da bacia hidráulica do Açude, consomem um total aproximado de 950 l/s, estimados também de forma indireta, através do balanço hídrico do reservatório (Rêgo et al., 2013).

3.5 Aplicação do Modelo de Simulação

Tendo estabelecidas as condições iniciais do reservatório, os locais de demanda e os cenários de adaptação, aplicou-se o modelo de simulação WEAP para a realização do estudo sobre a gestão da demanda e tendências políticas e socioeconômicas no sistema hídrico em questão.

Um dos principais objetivos específicos desta pesquisa é verificar a possibilidade ou não de uso das águas do reservatório Epitácio Pessoa para irrigação sob condições adversas, ou seja, quando forem submetidos aos cenários de gerenciamento de demandas otimistas ou pessimistas, onde as retiradas de água

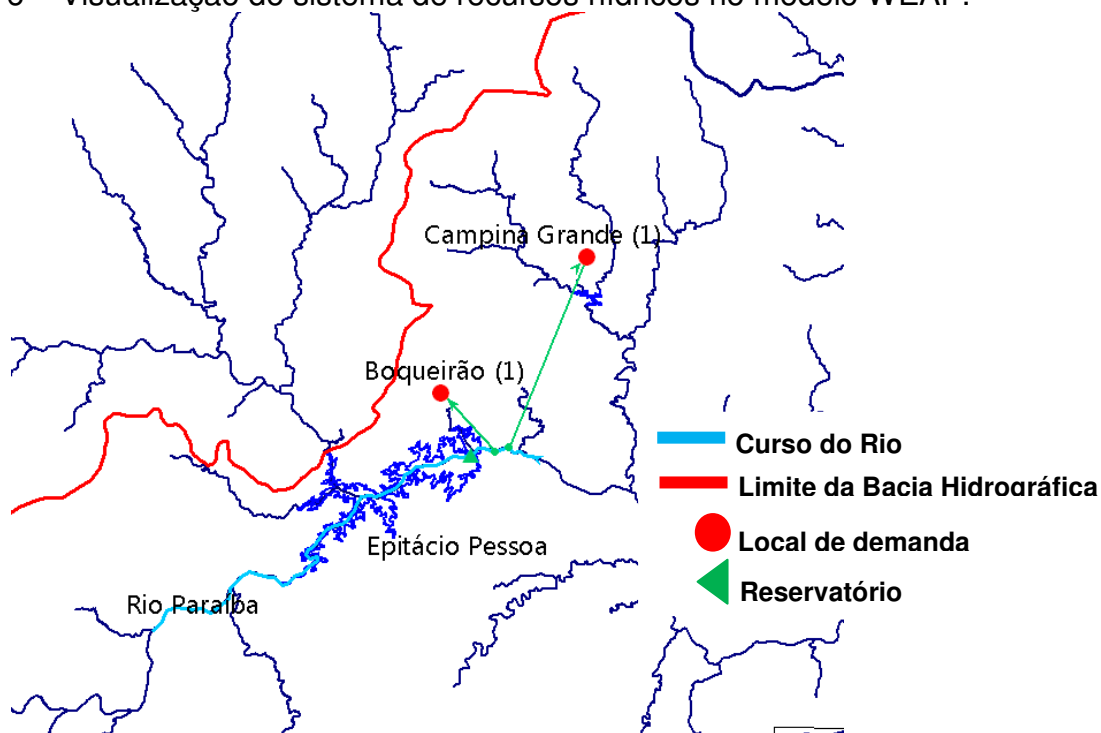
variam de acordo com os estudos relacionados e mediante ciclos chuvosos e secos.

A aplicação do modelo teve duas fases distintas e complementares: uma de calibração e outra de simulação. Para a calibração e simulação do modelo utilizou-se o intervalo de tempo entre os anos de 2004 até 2015, observando os dados de consumo de água produzido pela CAGEPA, consumo de água das áreas irrigadas ao longo da bacia hidráulica do açude e as séries hidrológicas (fluxo inicial e volume) observadas durante esse período. Os dados de população foram inseridos através da série estimada e descrita no subitem 3.1.

Os cenários foram então elaborados com a finalidade de apresentar um diagnóstico para a gestão eficiente dos recursos hídricos no Açude Epitácio Pessoa, combinando cenários com redução ou não das perdas do sistema de abastecimento, redução da demanda pela utilização de tecnologias de captação e aproveitamento de água de chuva e escolha dos limites de retiradas que não resultem em eventuais novas crises hídricas.

A Figura 6 mostra o esquema elaborado no modelo de simulação WEAP, possibilitando a visualização do sistema de recursos hídricos através da localização geográfica, com o uso de SIG.

FIGURA 6 – Visualização do sistema de recursos hídricos no modelo WEAP.



Fonte: Gerado pelo modelo WEAP (2016).

A calibração vai verificar a condição de acerto dos dados observados e seu desempenho é medido pela comparação entre valores simulados e observados. Para isso, uma equação bastante utilizada é a dos mínimos quadrados, representada por (LE ROY, 2005):

$$MQ = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{OBS} - Q_{SIM})^2}{N} \quad (4)$$

Onde:

Q_{OBS} : as vazões observadas no tempo i ;

Q_{SIM} : vazões simuladas no tempo i ;

N : é o número total de observações.

Embora este trabalho utilize um modelo de simulação relativamente simples, foi necessária a implantação de parâmetros e tratamentos matemáticos para o seu ajuste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

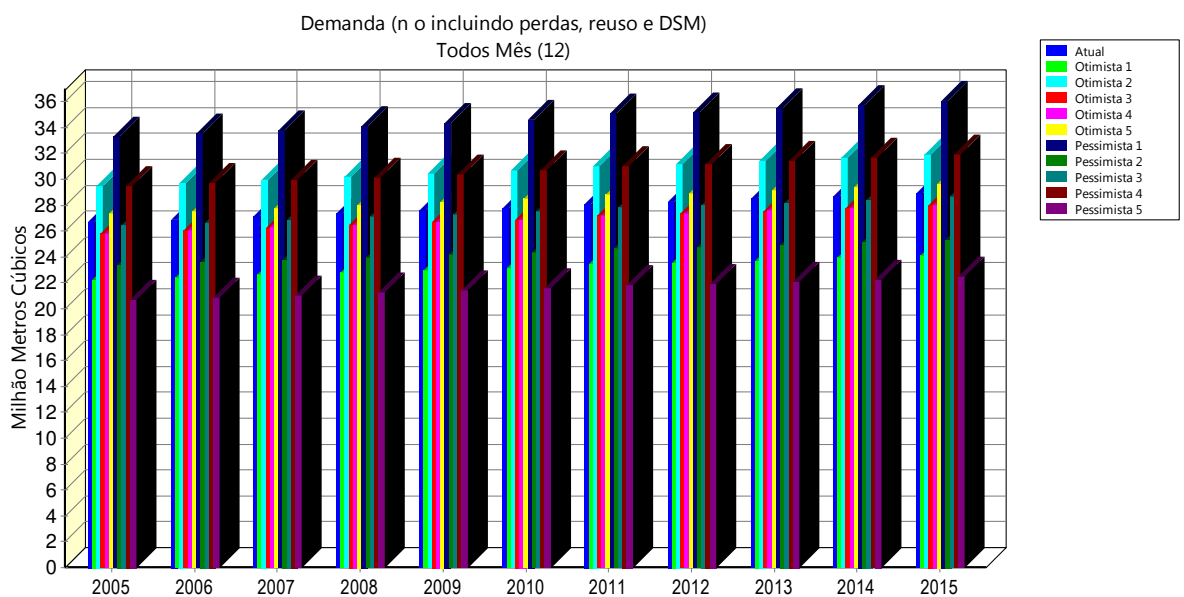
4.1 Demandas

4.1.1 Campina Grande e Áreas Irrigadas de Boqueirão

O modelo realiza um estudo sobre a evolução e o planejamento do uso da água. Os cenários desenvolvidos demonstram as previsões das demandas por meio da evolução do crescimento populacional, a porcentagem de perdas do sistema, o consumo per capta anual, distribuição do consumo mensal e, principalmente, as vazões retiradas para atendimento à demanda hídrica local.

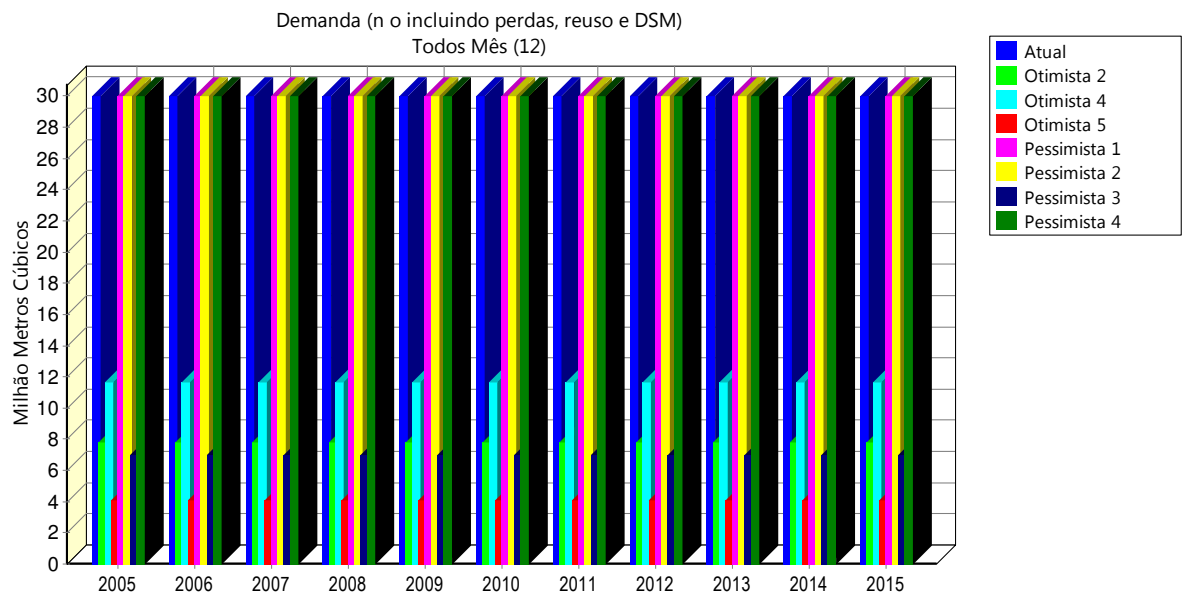
Nos Gráficos 5, 6 e 7 têm-se as simulações do crescimento da demanda e as demandas não atendidas, em todos os cenários propostos e para os 11 anos de entradas mensais.

GRÁFICO 5 – Demandas para Campina Grande no modelo WEAP.



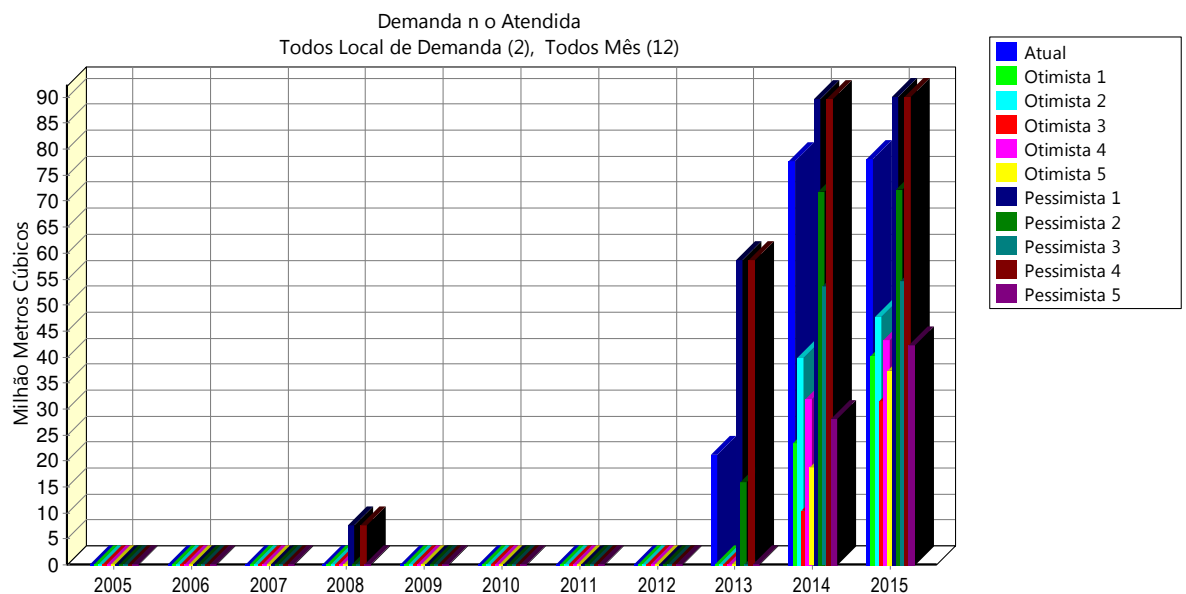
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

GRÁFICO 6 – Demandas para Áreas Irrigadas de Boqueirão no modelo WEAP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

GRÁFICO 7 – Demandas não atendidas para
Abastecimento de Campina Grande e Áreas Irrigadas de Boqueirão no modelo
WEAP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Observam-se que os volumes de demanda para Campina Grande crescem ao longo dos anos simulados e as demandas para as Áreas Irrigadas de Boqueirão são consideradas constantes, pois foi adotado um consumo anual por hectare cultivado.

O cenário Pessimista 1 foi o que mais se destacou na simulação apresentando os maiores valores de crescimento de demanda entre 2005 – 2015, conseqüentemente, um maior consumo e prováveis maiores falhas no atendimento em períodos de escassez hídrica. Os cenários Otimista 2 e Pessimista 4 possuem um desenvolvimento de demanda similar ao pior cenário.

Analisando os cenários Pessimistas 1 e 4 o Otimista 2, nota-se que os Pessimistas adotam a vazão de regularização calculada por estudos da ANA em 2009, de 1,85 m³/s, com práticas de irrigação na bacia hidráulica do Açude e índices de perdas maiores que 40%. Em contradição, o cenário Otimista 2 atende os valores de vazão impostos pelo PERH – PB (1,23 m³/s), com redução das perdas de água em 20%, porém utilizando os 20% que antes eram desperdiçados para irrigar uma área de 246 hectares, porém, apresenta um alto crescimento da demanda, o que demonstra que a irrigação é uma prática inviável para esse caso.

Para os cenários Pessimistas 1 e 4, pode-se inferir que os limites de retirada de água calculados pela ANA, não são adequados à realidade do reservatório e as áreas irrigadas são inviáveis. As perdas de 40% e 46,9%, respectivamente, ocasionam um desperdício de água que poderiam ter outros destinos, caso adotassem práticas de redução e economia d'água. Esses fatores tornam o risco de falhas e colapso do reservatório ainda mais evidente.

É importante destacar também que, os cenários Pessimista 5 e Otimista 1 obtiveram os níveis mais baixos de crescimento das demandas e foram simulados considerando a vazão outorgada de 1,301 m³/s (ANA, 2012) e regularizável de 1,23 m³/s (PERH – PB, 2006), respectivamente. Esses cenários, mesmo com o alto nível de perdas no sistema de abastecimento (40% e 46,9%), conseguem suprir as demandas da cidade de Campina Grande, somente em 2014 e 2015 que apresentam falhas no atendimento. Sendo assim, uma redução das perdas poderia diminuir o risco de não abastecimento até que se iniciasse um novo período chuvoso.

Os cenários Otimistas 3, 4 e 5 conseguiram atender as demandas sem falhas até 2013, a partir de 2014, a seca continua intensa e o nível do reservatório não consegue atingir valores que possibilitem o atendimento da vazão requerida, conseqüentemente, o volume de água que não chega ao usuário final é maior. . Para esses casos, medidas de controle para o desperdício de água no sistema de

abastecimento foram adotadas e a população passou a utilizar tecnologias de reaproveitamento de água de chuva, gerando economias de aproximadamente 30%. Para o cenário Otimista 4, que utiliza a vazão do PERH – PB, há a possibilidade de irrigação de uma área de 368 hectares em Boqueirão, com redução no atendimento das demandas a partir de 2014. O Otimista 5, ao considerar a vazão das resoluções da ANA nº 302/2012 e nº 303/2012, de 1,301 m³/s, também irá possibilitar uma área irrigada de 363 hectares para Boqueirão. Isso demonstra a importância da gestão eficiente dos recursos hídricos, que mesmo perante cenários de prolongada escassez hídrica, pode-se ter disponibilidade desses recursos para atender múltiplos usos.

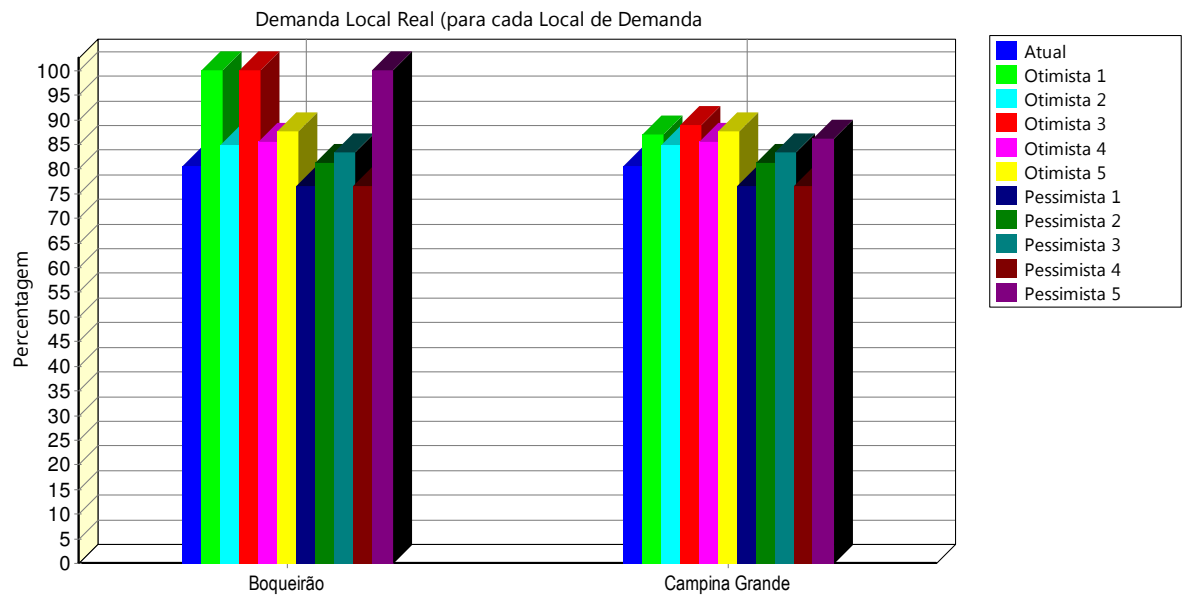
Em se tratando das demandas não atendidas, os cenários Atual, Pessimista 1 e Pessimista 4 se destacaram pelos altos valores nos anos de 2013, 2014 e 2015, o que pode ser explicado pela operação do reservatório praticada de forma insustentável e acima dos limites outorgados pela ANA (1,301 m³/s). Sendo, 1,5 m³/s para abastecimento de Campina Grande e 0,95 m³/s para irrigação sem outorga no cenário Atual, 1,85 m³/s e 0,95 m³/s para os cenários pessimistas. Esses valores representam 90% de retiradas a mais do que é outorgado pela ANA. E, com os desperdícios entre a captação e distribuição, juntamente a gestão deficiente e ineficaz fica inevitável o colapso do reservatório em períodos prolongados de escassez hídrica.

Em contradição, as demandas para os cenários que consideram o uso d'água para irrigação em Boqueirão não apresentam crescimento, pois se admitiu que os valores de consumo para cada hectare de produção equivalem em um ano a 31.536 m³/ano. Esses números são reflexos dos cálculos da demanda estimada indiretamente pela CAGEPA de 950 l/s.

Verifica-se a partir desses resultados que, a confiabilidade do sistema no atendimento às demandas apresentou uma variabilidade de acordo com cada cenário simulado, ou seja, tem-se o percentual no qual a água do reservatório conseguiu atender as demandas para irrigação e abastecimento humano, conforme o Gráfico 8. É interessante destacar que, os Cenários Pessimista 5 e Otimistas 1 e 3 possuem um percentual de 100% de garantia no atendimento das demandas para irrigação. Entretanto, a garantia apresenta uma redução para o abastecimento de Campina Grande de 86,11, 86,81 e 88,89, respectivamente, demonstrando falhas no

sistema que podem ser solucionadas através de medidas de racionamento d'água.

GRÁFICO 8 – Confiabilidade no atendimento às demandas para todos os cenários no WEAP.

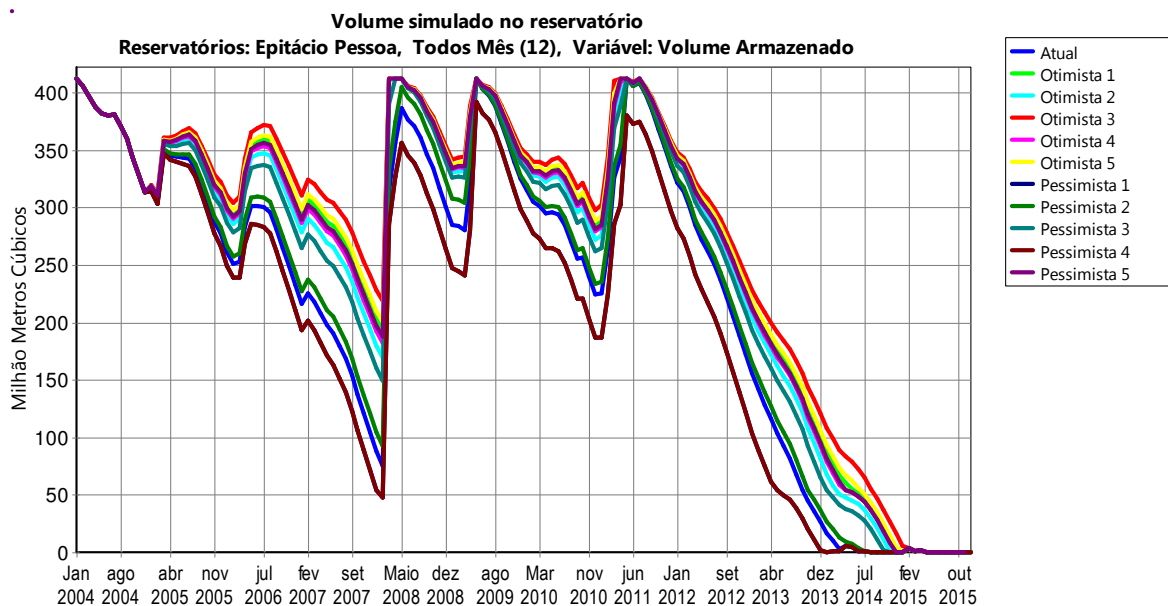


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

4.2 Reservatório Eptácio Pessoa

O atendimento às demandas na simulação realizada para todos os cenários foi feita de acordo com a disponibilidade hídrica e a capacidade da infraestrutura existente. O volume inicial do reservatório foi assumido como sendo igual ao volume do mês de janeiro de 2004 (397,258 milhões de metros cúbicos). O modelo WEAP foi então aplicado para simular a operação do reservatório considerando os 12 anos de entrada de dados. O Gráfico 9 serve para comparar as depleções dos volumes armazenados no açude para todos os cenários simulados.

GRÁFICO 9 – Volumes do reservatório para operação entre 2004 – 2015 para todos os cenários no WEAP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O aumento das demandas ocasiona uma tendência de deplecionamento volumétrico do reservatório, que em períodos de grande escassez hídrica não proporciona condições de atender às demandas futuras.

No início de 2004, ocorre um aumento no volume das águas armazenadas no reservatório tendo sua capacidade máxima atingida em janeiro do mesmo ano. Uma redução no seu volume é registrada no período de seca registrado entre 2011 a 2015.

O Gráfico 9 aponta que, a partir de 2005, dá-se início a variação dos volumes mensais em todos os cenários. As diferenças entre os volumes armazenados são mais acentuadas entre 2007 e 2008, 2013, 2014 e 2015, para os cenários simulados. Em fevereiro de 2008, o nível do reservatório nos cenários Pessimistas 1 e 4 chegam a atingir um volume abaixo do mínimo operacional, de 47,81 milhões de m³ da capacidade máxima. Esse fator pode ser explicado pelos altos níveis de demanda na região provocada pelas retiradas acima da capacidade do açude (1,85 m³/s), as atividades agrícolas sem outorga, perdas no sistema a partir de 40% e o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico. Ainda assim, o WEAP tenta diminuir as alocações antes dos períodos secos a fim de reduzir a dimensão dos déficits e, por conseguinte, evitar o colapso dos atendimentos às demandas.

É importante lembrar que o volume de alerta do reservatório foi estipulado em 54,4 milhões de m³. Com os valores apresentados pelo modelo de simulação, o nível do reservatório atingiu sua capacidade máxima nos meses de abril, maio e julho para os cenários Otimistas 1, 2, 3, 4 e 5 e Pessimistas 3 e 5, no ano de 2011. Fazendo uma comparação entre eles, nota-se que mesmo os cenários Otimistas 2, 4 e 5 e Pessimista 3 apresentando crescimento das demandas pelas áreas irrigadas em Boqueirão, o açude não deixou de atingir seu volume máximo.

No período de início de um novo ciclo de escassez hídrica (2012 – 2015), observa-se que, para os cenários Atual, Pessimista 1 e 2, o reservatório entra em colapso em 2014, com exceção do Pessimista 4 que inicia o esgotamento ao final de 2013. Nas quatro situações, os níveis do reservatório ficarão em situação crítica, dificultando o atendimento a todas as demandas.

Para todos os cenários, o modelo de simulação WEAP tenta diminuir as alocações de água antes dos períodos secos, com a finalidade de reduzir a dimensão dos déficits e diminuir o risco de colapso dos atendimentos às demandas. Porém, o prolongado período de escassez hídrica dificultou a redução das falhas, mesmo para os cenários onde houve práticas de economia de água.

5 CONCLUSÕES

Essa pesquisa teve como principal objetivo o desenvolvimento de cenários de adaptação, com base no gerenciamento de demandas e tendências políticas e socioeconômicas, a fim de atender a possibilidade de usos múltiplos do reservatório Epitácio Pessoa, localizado na região semiárida do estado da Paraíba, Brasil.

A geração dos cenários de adaptação foi realizada considerando a gestão da demanda e as tendências políticas e socioeconômicas, o que permitiu avaliar uma variabilidade de situações, desde a condição atual de operação do reservatório até aquelas que oscilavam entre otimistas e pessimistas.

Os cenários foram simulados no modelo WEAP que demonstrou sua aplicabilidade para avaliação de um sistema de recursos hídricos em SIG e análise do problema através de diversas formas de apresentação oferecidas pelo modelo. Estas características o definiram como uma boa ferramenta de apoio à tomada de decisões no planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Com base nos resultados, conclui-se que é possível a prática de irrigação suprida pelo açude Epitácio Pessoa, desde que seja realizada uma gestão eficiente das águas do reservatório, por meio de ações que objetivem uma redução das perdas no sistema de abastecimento, onde os valores de 40% sejam reduzidos pelo menos a 20%. Isso é possível, se a concessionária CAGEPA, realizar constantemente a manutenção da rede de abastecimento, promover a fiscalização para se evitem os furtos e ligações clandestinas, entre outros.

Além disso, o uso de tecnologias para reaproveitamento de águas de chuva, que proporcionam uma economia de 9,9%, segundo dados de Souza, Galvão e Rufino (2014), pode garantir o atendimento dessas demandas, desde que essas medidas sejam efetivadas de acordo com os limites da disponibilidade.

Em contrapartida, cabe destacar que todos os cenários apresentaram esvaziamento progressivo do Açude de Boqueirão para o ciclo prolongado de seca entre 2012 e 2015. Então, mesmo fazendo uso das medidas necessárias para minimizar os desperdícios decorrentes dessas conclusões é necessária a utilização de outros meios para garantir o atendimento às demandas requeridas. Sendo assim, espera-se que este trabalho sirva como suporte na tomada de decisão para os gestores do açude Epitácio Pessoa, na Paraíba.

Ainda assim, seria interessante que trabalhos posteriores adotassem a possibilidade de geração de cenários que venham a incorporar as possíveis mudanças climáticas, procedimento que poderá permitir a construção de estratégias de adaptação que considere a variabilidade climática para os possíveis futuros, visando o aprofundamento dos estudos em relação à realidade da região analisada, notadamente obtendo informações sobre a operação do reservatório para o clima futuro e a possibilidade de usos múltiplos de suas águas.

Outra sugestão seria pesquisar a possibilidade do reuso de água para fins de atendimento a demandas como agricultura e indústria, buscando sanar a necessidade de água e atender os diversos usos para fins não potáveis. Assim, os cenários descritos além de incorporar todos os critérios anteriormente citados poderão mostrar se esta seria uma possibilidade para garantir a multiplicidade de usos da água no açude de Boqueirão, mesmo diante de periódicos eventos de escassez hídrica.

REFERÊNCIAS

AESA - NOGUEIRA, G.; DINIZ, L. da S.; ZÍRPOLI, M. T. Sustentabilidade Hídrica do Açude Epitácio Pessoa: Vazão Regularizável x Evolução das Demandas. AESA. João Pessoa, 2004.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=selecionarMesEAnoVolumesMensais>>. Acessado em: 20 de mar de 2016.

ALBUQUERQUE, A. S. O. **Avaliação da influência das mudanças climáticas na operação ótima de sistema de reservatórios com múltiplos fins**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2008.

ALVAREZ, U. F. H.; TRUDEL, M.; LECONTE, R. Impacts and Adaptation to Climate Change Using a Reservoir Management Tool to a Northern Watershed: Application to Lièvre River Watershed, Quebec, Canada. **Water Resour Manage**, vol. 28, p. 3667 – 3680, 2014.

BARROS, F. V. F.; MARTINS, E. S. P. R.; JUNIOR, D. S. R.; ALVES, C. de M. A. Desenvolvimento do módulo de operação de sistema de reservatórios no sistema de informações para gerenciamento da alocação de água – SIGA. In: **Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. 2008. P. 16.

BATISTA, R. L. **Planejamento da utilização da água de um sistema hídrico: um estudo de caso no reservatório São Gonçalo – Sousa/PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, 2013.

BHAVE, A. G.; MISHRA, A.; RAGHUWANSHI, N. S. Evaluation of hydrological effect of stakeholder prioritized climate change adaptation options based on multi-model regional climate projections. **Climate Change**, vol. 123, p. 225 – 239. 2014.

BRASIL. Decreto Lei Federal Nº 24.643, de 10 de Julho de 1934. Código de Águas. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm>. Acessado em: 01 de fev. de 2015.

BRASIL. Decreto Lei Federal Nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM>. Acessado em: 01 de fev. de 2015.

BRASIL. Decreto Lei Federal Nº 9.984 de 17 de Julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de

Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm>. Acessado em: 01 de fev. de 2015.

BRASIL (2014) Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2012. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 164 p.

BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; PILAR, J. V. Otimização da Operação de Reservatórios: Estado-da-Arte. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa**, 2005, CD-ROM.

BRITO, F. B. **O Conflito pelo Uso da Água do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão - PB)**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba - UFPB. João Pessoa, 2008.

CANAVEIRA, P.; RAPUDO, R. **Relatório de Progresso da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas**. Departamento de Alterações Climáticas/Divisão de Adaptação e Monitorização. Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora, 2013.

CAP-NET - International network for capacity building in integrated water resources management. Conflict Resolution and Negotiation Skills for Integrated Water Resources Management. 2008.

Centro de Cambio Global – Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute, 2009. Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Santiago, Boston, 2009.

CURI, R. C., CURI, W. F. e CELESTE, A. B. Alocação ótima de água do reservatório engenheiro Arco Verde para irrigação via programação não linear. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória. ES. In: **Anais, CD-ROM**. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA A SECA – DNOCS. 2013. In: **Entrevista de dados hidrológicos concedida a Valterlin da Silva Santos**. 2013.

EUM, H-II.; VASAN, A.; SIMONOVIC, S. P. **Integrated Reservoir Management System for Flood Risk Assessment Under Climate Change**. Water Resour Manage, vol. 26, p. 3785-3802, 2012.

FAHEY, L.; RANDALL, R. M. **Learning from the future competitive foresight scenarios**. John Wiley & Sons, Inc. 1998.

FARIAS, C. A. S. **Derivation of hedging rules and forecasts by artificial neural networks for optimal real-time management of an integrated water resources system**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia), Ehime University, Matsuyama, Japão, 2009.

FARIAS, C. A. S.; TRIGUEIRO, H. O.; KADOTA, A. Use of implicit stochastic optimization and genetic algorithms for deriving reservoir hedging rules. **Annual Journal of Hydraulic Engineering**, JSCE, v. 58, fev. 2014..

FILHO, J. D. de A. P.; BRAGA, A. C. F. M.; FERNANDES, R de O.; GALVÃO, C de O. Avaliação de Simulação de Precipitação por Modelo Atmosférico Regional na Bacia do Rio Gramame. AL. In: **Anais do XIX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. 2011.

FONSECA, F. **Efeitos do Turismo na Demanda d'água da Bacia do Rio Gramame – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.

GALVÃO, C. O.; GOMES FILHO, M. F. **Previsão de volume armazenado no açude Boqueirão para o ano de 2003 a partir da previsão de chuvas para o norte do nordeste**. UFCG. Campina Grande, 2003, 5p.

GEORGAKAKOS, A. P.; YAO, H.; KISTENMACHER, M.; GEORGAKAKOS, K. P.; GRAHAM, N. E.; CHENG, F.-Y.; SPENCER, C.; SHAMIR, E. Value of adaptive water resources management in Northern California under climatic variability and change: Reservoir management. **Journal of Hydrology**, vol. 412 – 413, p. 34 – 46, 2012.

GUIMARÃES, A. O.; MELO, A. D. de; CEBALLOS, B. S. O. de; GALVÃO, C. O. de; RIBEIRO, M. M. R. R.; Aspectos da gestão do açude Epitácio Pessoa (PB) e variação da qualidade de água. In: **Anais de 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande-MS, 2005.

HERRERA, D. J. M. **Integração de Modelos de Quantidade e Qualidade da Água para Avaliação de Cargas Contaminantes em Afluentes de Mananciais de Abastecimento**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relatórios Dinâmicos. Indicadores Municipais. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=250400>>. Acessado em: 01 de fev. de 2016.

IDEME. Características do Crescimento Populacional nas Regiões Geoadministrativas do Estado da Paraíba. Instituto de Desenvolvimento Municipal e Estadual da Paraíba. João Pessoa, 2011.

LE ROY, E. 2005. **A study of the development of water resources in the Olifants catchment, South Africa: Application of the WEAP model**. Tese (Mestrado em Ciências). Imperial College London. Londres – Inglaterra, 2005.

LI, X.; ZHAO, Y.; SHI, C.; SHA, J.; WANG, Z-L.; WANG, Y. Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. **Ocean & Coastal Management**, vol. 106, p. 97-109, 2015.

LOGAR I.; BERGH, J. C. J. M. **Methods to Assess Costs of Drought Damages and Policies for Drought Mitigation and Adaptation: Review and Recommendations.** Water Resources Management, vol. 7, p. 1707-1720, 2013.

LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R.; HAITH, D. A. Water Resources Systems Planning and Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 1981.

MARQUES, E. **Prospec: Modelo de Geração de Cenários em Planejamento Estratégico.** Rio de Janeiro, 1988. Disponível em: http://www.bndespar.com.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_ideias/livro-11.pdf. Acessado em: 10 de out. de 2015.

MACHADO, E. C. M. N. **Metodologia Multiobjetivo para Alocação da Vazão Excedente em Bacias Hidrográficas.** Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2011.

MEDEIROS, C. N. de.; GOMES, D. D. M.; ALBUQUERQUE, E. L. S.; CRUZ, M. L. B. da. (2011). Os recursos hídricos do Ceará: Integração, gestão e potencialidades. Fortaleza: IPECE, 2011. 268 p.

MEHTAA, V. K.; HADEN, V. R.; JOYCE, B. A.; PURKEY, D. R.; JACKSON, L. E. **Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California.** Agricultural Water Management, vol. 117, p. 70-82. 2013

MOHAN, S.; RAIPURE, D. M. "Multiobjective Analysis of Multireservoir System". **Journal of Water resources Planning and Management**, [S.L.], v. 118, p. 356-370, July/August, 1992.

OLIVEIRA, F. C. de. Alterações no Sistema Produtivo e Organização do Trabalho na Agricultura Irrigada em torno do Açude de Boqueirão - PB. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba - UFPB. João Pessoa, 2007.

PERH (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. AESA, João Pessoa.

RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; RIBEIRO, M. M. R. (2000). "Uma análise da crise 1998- 2000 no abastecimento d'água de Campina Grande-PB" in Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, Nov. 2000, v. 2, p. 459-468.

RÊGO, J.C.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; GALVÃO, C.O. (2001). "Participação da Sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande-PB". In: **Proceedings of the Fourth Inter-American Dialogue on Water Management.** Foz do Iguaçu, 2001.

RÊGO, J.C.; GALVÃO, C.O.; ALBUQUERQUE, J.P.T. (2012). "Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do açude Epitácio Pessoa – Boqueirão na Bacia

Hidrográfica do rio Paraíba em cenário de vindouros anos secos”. In: **Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. João Pessoa, Nov. 2012.

RÊGO, J.C.; GALVÃO, C.O.; VIEIRA, Z.M.C.L.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; SOUZA, J. A. (2013). Atribuições e responsabilidades na gestão dos recursos hídricos – O caso do açude Epitácio Pessoa/Boqueirão no Cariri Paraibano. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

RÊGO, J.C.; GALVÃO, C.O.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; NUNES, T. H. C. (2013). Novas Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do açude Epitácio Pessoa - A Seca 2012-2014. In: Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, 2014.

REIS, L. G. de M. Avaliação de critérios de outorga associados a políticas de operação de reservatório na Bacia do rio Moxotó, semiárido brasileiro. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

RIGHETTO, A. M., GUIMARÃES JR., J.A., MATTOS, A. Indução de Sinergia hídrica no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves. RN. In: **Anais do V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2000.

SANTOS, V. S. **Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistemas de Recursos Hídricos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

SETTI, A. A. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2ª ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.

SILVA, P. H. P. da. A Gestão de Recursos Hídricos na Visão Midiática - O Caso do Açude Epitácio Pessoa/Boqueirão - PB. In: **Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Natal, 2014.

SOUZA, T. J.; GALVÃO, C. O.; RUFINO, I. A. A. Estimativas de Disponibilidade de Água de Chuva em Edificações Residenciais no Meio Urbano. In: **Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Natal, 2014.

TADEU, H. F. B.; SILVA, J. T. M. (2013) Simulação de Cenários para o Planejamento Estratégico Empresarial. Caderno de Ideias, FDC. Disponível em: <<http://acervo.ci.fdc.org.br/AcervoDigital/Cadernos%20de%20Id%C3%A9ias/2013/CI1304.pdf>> . Acessado em: 10 de mar de 2015.

VIEIRA, Z. M. de C. L. **Metodologia de Análise de Conflitos na Implantação de Medidas de Gestão da Demanda de Água**. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008.

VIEIRA, A. S.; SANTOS, V. S; CURI, W. F. Escolha das regras de operação racional para subsistema de reservatórios no semiárido nordestino. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 7, n. 1, p. 037-050, jan. /mar . 2010.

VIEIRA, A. S. **Modelo de Simulação Quali-quantitativo Multiobjetivo para o Planejamento Integrado dos Sistemas de Recursos Hídricos**. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

VONK, E.; XU, Y. P.; BOOIJ, M. J.; ZHANG, X.; AUGUSTIJN, D. C. M. **Adapting Multireservoir Operation to Shifting Patterns of Water Supply and Demand - A Case Study for the Xinanjiang-Fuchunjiang Reservoir Cascade**. *Water Resources Management*, vol. 28, p. 625-643, 2014.

YATES, D.; SIEBER, J.; PURKEY, D.; HUBER-LEE, A. WEAP21—a demand-, priority- and preference-driven water planning model. *Water Int.*, vol. 30, p. 487–500. 2005.

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

ANEXO A

Dados da Curva Cota Área Volume para o reservatório Epitácio Pessoa

Pto da Curva	Cota	Área	Volume
	m	m²	m³
01	343,00	37.223	16.994
02	344,00	70.593	69.800
03	345,00	142.867	174.286
04	346,00	257.180	366.771
05	347,00	421.869	707.956
06	348,00	631.536	1.230.617
07	349,00	873.903	1.981.542
08	350,00	1.158.564	2.990.176
09	351,00	1.506.467	4.314.820
10	352,00	1.866.251	5.996.469
11	353,00	2.261.179	8.058.687
12	354,00	2.697.741	10.529.191
13	355,00	3.217.443	13.477.904
14	356,00	3.859.121	17.006.273
15	357,00	4.556.783	21.217.917
16	358,00	5.260.937	26.112.154
17	359,00	6.158.316	31.819.531
18	360,00	7.030.425	38.416.664
19	361,00	8.029.009	45.934.680
20	362,00	8.999.597	54.453.579
21	363,00	10.013.408	63.965.416
22	364,00	11.031.533	74.490.376
23	365,00	12.260.463	86.139.409
24	366,00	13.693.060	99.074.597
25	367,00	15.486.319	113.650.769
26	368,00	17.365.964	130.099.018
27	369,00	19.443.185	148.504.719
28	370,00	21.743.159	169.122.415
29	371,00	24.290.550	192.184.935
30	372,00	26.752.308	217.765.387
31	373,00	29.120.116	245.796.027
32	374,00	31.256.425	276.130.869
33	375,00	33.046.998	308.486.064
34	376,00	34.539.523	342.495.505
35	377,00	36.142.787	377.846.134
36	377,55	38.135.841	397.990.704
37	377,90	39.623.321	411.686.287

Fonte: AESA (2016).

ANEXO B

Dados de Vazão Observada para o reservatório Epitácio Pessoa em milhão de metros cúbicos

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2004	397,26	411,686	411,7	412	410	407	408,2	400,34	392,13	381,509	372,19	361,585
2005	370,42	364,059	411,7	412	412	411,7	411,7	406,21	396,159	384,805	373,957	370,068
2006	359,46	353,101	352,7	389	412	411,7	411,7	410,12	399,556	388,101	377,492	366,887
2007	355,93	367,241	365,5	358	350	343,9	336,4	328,89	320,729	309,846	298,779	287,778
2008	277,43	268,547	453	432	432	420,6	414,9	407,77	397,99	387,002	375,018	363,352
2009	352,39	355,475	356,3	389	452	428,3	423,8	417,31	407,381	394,328	382,974	372,543
2010	369,72	363,352	361,9	361	364	362,6	355,9	347,44	337,394	343,202	331,272	321,069
2011	327,87	366,887	432,8	445	434	423,4	426,2	418,94	408,947	397,258	386,636	373,957
2012	365,47	360,878	346	334	324	316,6	308,8	299,1	288,749	276,778	263,693	251,863
2013	240,19	229,538	220	213	205	198,8	193	185,27	177,886	168,503	162,112	154,277
2014	145,01	139,486	133,8	132	131	127,6	122,9	117,27	111,61	105,925	99,949	94,676
2015	89,114	88,338	84,51	81,2	76,7	73,54	71,12	67,438	63,204	58,829	54,834	51,642

Fonte: AESA (2016).