

**Sustentabilidade do Uso dos Recursos Hídricos do Reservatório
Epitácio Pessoa através de um Modelo de Otimização
Multiobjetivo**

*Sustainable Use of Water Resources of Epitácio Pessoa Reservoir
Through a Multiobjective Optimization Model*

*Uso Sostenible de Los Recursos Hídricos do Embalse Epitácio
Pessoa através de Un Modelo de Optimización Multiobjetivo*

Valterlin da Silva Santos, Dr.

Professor Adjunto II – Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências Jurídicas e Sociais, Unidade Acadêmica de Ciências Contábeis. Endereço: Rua Sinfrônio Nazaré nº38, Centro, CEP: 58.800-240, Sousa, PB, Brasil, Telefone: (83) 3521-3232, e-mail: valterlin@yahoo.com.br

Wilson Fadlo Curi, Dr.

Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais – UFCG
Centro de Ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Física.
Endereço: Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58109970 - Campina Grande, PB - Brasil
Telefone: (83) 3310-1195, e-mail: wfcuri@gmail.com

RESUMO

Em regiões áridas e semiáridas a escassez hídrica condiciona as atividades humanas e o desenvolvimento socioeconômico da região. Os modelos de otimização são ferramentas que podem estabelecer diretrizes e ações para o aproveitamento, controle e conservação dos recursos hídricos bem como analisar os benefícios oriundos da compatibilização entre a oferta e a demanda. Este trabalho apresenta um estudo da sustentabilidade do uso dos recursos hídricos do reservatório Epitácio Pessoa, situado na Região do Alto Curso do Rio Paraíba no cariri paraibano, considerando a operação ótima multiobjetivo e plurianual. O reservatório tem como finalidade o abastecimento urbano, o atendimento das demandas hídricas de um perímetro irrigado e a perenização do rio Paraíba a jusante do mesmo. Os resultados demonstram que a atividade agrícola pode ser desenvolvida no reservatório Epitácio Pessoa sem comprometer a demanda de abastecimento humano nas cidades (cenário 2), desde que seja realizado um estudo de quais culturas agrícolas deve ser cultivadas e em qual época do ano. Tem-se que o reservatório não consegue atender integralmente a demanda estabelecida para a perenização do rio a jusante do mesmo.

Palavras-Chaves: Operação de reservatórios. Otimização plurianual. Planejamento.

ABSTRACT

The scarce water availability within arid and semiarid regions imposes limits to regional social and economic development. Herein a multiobjective optimization model to maximize benefits was used to establish actions to conserve natural water resources and control its use. This paper presents a study of sustainable use of water resources of Epitácio Pessoa reservoir, situated in the Paraíba river in cariri paraibano, considering of optimum multiobjective and multiannual operation. The reservoir aims to supply urban, meeting the demands of perimeter water irrigated and the continuity of the Paraíba River downstream of the same. The results show that agricultural activity can be developed in the Epitácio Pessoa reservoir without compromising the human supply demand in cities (scenario 2), provided that it is a study of which crops must be grown and at what time of year. Has that the reservoir cannot meet demand fully established for the continuity of the river downstream of the same.

Key-words: Reservoir operation. Multiannual optimization. Planning.

RESUMEN

En las regiones áridas y semiáridas la escasez de agua afecta a las actividades humanas y el desarrollo socioeconómico de la región. Los modelos de optimización son herramientas que pueden establecer directrices y acciones para el uso, control y conservación de los recursos hídricos y analizar los beneficios derivados de la compatibilidad entre la oferta y la demanda. Este trabajo presenta un estudio sobre el uso sostenible de los recursos de agua en el embalse Epitacio Pessoa, ubicado en el río Paraíba en cariri paraibano, teniendo en cuenta el funcionamiento óptimo multiobjetivo y plurianual. El depósito está dirigido al abastecimiento urbano, la satisfacción de las demandas de agua de una zona de regadío y la perpetuación del río Paraíba aguas abajo de la misma. Los resultados muestran que la actividad agrícola puede ser desarrollada en el embalse Epitacio Pessoa sin comprometer la demanda para el consumo humano en las ciudades (escenario 2), ya que un estudio en el que los cultivos deben ser cultivados y en qué época del año que se realiza. Tenemos que el depósito no puede satisfacer plenamente la demanda establecida para la perpetuación del río aguas abajo de la misma.

Palabras-claves: Operación de los embalses. Optimización plurianual. La planificación.

1 INTRODUÇÃO

Na região semiárida do Nordeste brasileiro, o desenvolvimento socioeconômico, e conseqüentemente a qualidade de vida da população, é fortemente relacionado à disponibilidade hídrica da região. A região apresenta chuvas bastante irregulares a nível espaço-temporal, índices pluviométricos baixos e com perdas evaporativas nos reservatórios muito altas quando comparadas a outras regiões do Brasil.

Oliveira e Lanna (1997) afirmam que as causas do pouco desenvolvimento da região esta relacionado aos baixos investimentos na infra-estrutura hídrica e na ineficiência no seu aproveitamento. Curi et al. (2004) afirmam que para melhorar os padrões socioeconômicos é necessário promover o uso racional dos recursos naturais existentes, em especial a água e as terras aptas ao plantio.

Os reservatórios constituem-se nos mais importantes elementos que compõem os sistemas de aproveitamento de recursos hídricos de superfície dessa região. Porém precisam ser gerenciados eficientemente a fim de possibilitar a atenuação do desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água, possibilitando o desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos que usam a água como insumo básico. O gerenciamento de reservatórios envolve a alocação da água disponível para os seus diversos usos e usuários, minimizando os riscos de prejuízos que possam advir de uma escassez hídrica ou pela ocorrência de inundações eventuais, a jusante, e maximizando os benefícios originados do uso múltiplo da água (ALBUQUERQUE et al. 2003).

O reservatório Epitácio Pessoa apresenta problemas de escassez hídrica decorrentes do uso da água para o abastecimento urbano e para a agricultura irrigada, principal atividade econômica da região. O reservatório é responsável pelo abastecimento urbano de 18 cidades, incluindo a cidade de Campina Grande, 2ª maior cidade do Estado da Paraíba, com 385.213 habitantes (IBGE, 2010).

Rêgo et al. (2000) relata que durante a ocorrência da seca de 1997-1999, diante da ameaça de colapso total do abastecimento urbano, representado pelo baixo nível a que ficou reduzido o volume d'água acumulado no reservatório, foi necessário a implantação de um regime de racionamento da distribuição de água, que teve início no segundo semestre de 1998 e prolongou-se até os primeiros meses do ano 2000. Ao racionamento seguiu-se a suspensão, por medida judicial, da irrigação que vinha sendo praticada, sem nenhum controle técnico, nas margens do açude e o fechamento da comporta de descarga de fundo. Porém, depois de sucessivas cheias, a partir do ano de 2004, há uma pressão para o retorno das atividades agrícolas em torno do açude.

Logo, constata-se que o planejamento dos recursos hídricos do reservatório torna-se imprescindível no sentido de promover o uso eficiente e racional das disponibilidades hídricas entre os múltiplos usuários de forma integrada e otimizada.

Contudo este trabalho tem o objetivo de analisar sustentabilidade do atendimento de suas demandas através da operação plurianual ótima e integrada do reservatório Epitácio Pessoa visando à alocação ótima dos recursos hídricos entre os múltiplos usos e a maximização dos benefícios sociais e financeiros oriundos da área irrigada através de uma análise multiobjetivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A água é um recurso finito. Com o aumento da população mundial, a demanda por este recurso vem sendo cada vez maior ao passo que a sua oferta sofreu acentuada queda ao longo das últimas décadas. (RIBEIRO, 2003)

O Brasil é um país com uma das maiores ofertas de recursos hídricos de todo o planeta. Entretanto, devido às dimensões continentais, existem muitos contrastes entre as diversas regiões que formam o nosso país quanto à disponibilidade hídrica. Enquanto a Região Amazônica apresenta alguns dos maiores mananciais de água doce do mundo, a Região Nordeste apresenta graves problemas decorrentes da escassez deste recurso (BRITO *et al.*, 2007).

A oferta de recursos hídricos sempre foi umas questões mais preocupantes da Região Nordeste do Brasil, notadamente nas áreas que correspondem ao sertão nordestino, principalmente em razão do pouco volume de precipitações que ocorrem durante o ano, bem como também dos altos índices de perdas por evaporação (BERBERT, 2003).

Uma das alternativas para melhorar a oferta hídrica no nordeste brasileiro foi a construção de reservatórios que, basicamente, tem como princípio de funcionamento a formação de reservas de água no período das chuvas e o uso dessas reservas no período de escassez.

Ainda assim, nos períodos de estiagem, o problema da falta de água continua na região semiárida brasileira. Brito *et al.* (2007) afirmam que a efetividade da solução

da armazenagem para a escassez de recursos hídricos perpassa por uma administração eficiente dos reservatórios. Trata-se, então, de buscar um aperfeiçoamento na utilização, tendo por base as prioridades de uso, de modo que o recurso esteja sempre disponível.

2.1 Planejamento dos Recursos Hídricos

O planejamento dos recursos hídricos visa à avaliação prospectiva das demandas e das disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, de forma a obter os máximos benefícios econômicos e sociais, com a mínima degradação ambiental. É necessário planejar a longo prazo, em razão do tempo de maturação das obras hidráulicas, da vida útil dessas obras e pela repercussão das decisões tomadas, que podem atingir várias gerações, sendo muitas vezes irreversíveis (SETTI *et al.*, 2000, p. 44).

Berbert (2003) destaca a importância do planejamento das águas dos reservatórios para proporcionar uma melhor utilização desses recursos hídricos, de forma a satisfazer todos os seus usuários, sobretudo, em regiões que apresentam a escassez de água, já que os problemas oriundos dessa escassez tendem a se agravar caso não sejam implantadas políticas adequadas de uso dos recursos hídricos.

Para auxiliar no planejamento dos recursos hídricos têm sido desenvolvidos modelos, que são comumente feitos por meio de aplicação de elaboradas metodologias matemáticas e computacionais, que têm ajudado a apontar políticas de utilização mais eficientes dos recursos hídricos disponíveis nesses sistemas, com base nas prioridades de uso, nas particularidades de cada sistema ou região, nas restrições impostas por cada sistema. As duas principais técnicas são a simulação e a otimização.

Para Lanna (2002), os dois os grandes propósitos do planejamento dos recursos hídricos são: simular o comportamento da realidade que eles representam e otimizar os processos decisórios que atuam sobre a realidade. Lima e Lanna (2005) ressaltam que a escolha da metodologia dependerá das particularidades do sistema em análise.

Diversos trabalhos já foram desenvolvidos abordando as técnicas de otimização e simulação para o planejamento dos recursos hídricos. Os trabalhos de Wurbs (2005), Labadie (2004), Lima e Lanna (2005) e Bravo *et al.* (2005) apresentam revisões sobre as metodologias com ênfase em aplicações práticas.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

O reservatório Epitácio Pessoa, conhecido popularmente como açude Boqueirão, está localizado na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (Figura 1), Estado da Paraíba, nos municípios de Boqueirão, Barra de São Miguel e Cabaceiras.



Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Fonte: AESA, 2010

As principais afluições ao reservatório são provenientes do Rio Paraíba e do Rio Taperoá. A capacidade de armazenamento é de 411 milhões de metros cúbicos (2º maior reservatório do Estado) sendo suas águas utilizadas para o abastecimento público de diversos municípios; para a perenização do trecho do rio Paraíba a jusante do reservatório; para o abastecimento rural das propriedades situadas nas margens do açude, para a dessedentação animal; para a irrigação praticada por concessionários do DNOCS e particulares nas margens do açude; para o turismo e o lazer (DNOCS, 2007 apud Vieira, 2008).

3.2 Análise dos usos dos recursos hídricos do reservatório

As demandas hídricas consideradas nesse estudo dizem respeito ao abastecimento urbano de 18 cidades, irrigação de uma área de 1020 hectares nas margens do reservatório e a perenização do rio Paraíba a jusante do reservatório.

Para a análise dos usos dos recursos hídricos do reservatório foram idealizados três cenários centrados em aspectos operacionais:

- Cenário 1: O único uso das águas do reservatório será para o abastecimento urbano através das adutoras;
- Cenário 2: Será considerado, além do abastecimento urbano (1ª prioridade), o uso das águas para a agricultura irrigada (2ª prioridade).
- Cenário 3: Será considerado, além do abastecimento urbano (1ª prioridade) e da agricultura irrigada (2ª prioridade), o uso das águas para a perenização do rio a jusante do reservatório (3ª prioridade)

Para a simulação dos cenários propostos foi utilizado modelo de otimização desenvolvido por Santos et al. (2011). O modelo se destina a otimizar os múltiplos usos de um sistema de reservatórios, com a implantação ou melhoramento da operação de um ou mais perímetros irrigados. O mesmo trabalha com variáveis relacionadas aos elementos naturais, tais como: hidroclimáticos e hidroagrícolas, como também outras variáveis (demandas hídricas, características físicas dos componentes, etc) identificadas no estudo do sistema hídrico. Para estes elementos, são definidas as informações necessárias ao modelo para a entrada de dados, envolvendo: os reservatórios, as demandas, calhas dos rios e perímetros irrigados. A operação do reservatório e dos nós é fundamentada na equação do balanço hídrico destes, mesmo quando se faz uso de demandas fixas e variáveis. A demanda hídrica de uma área irrigada é determinada com base na necessidade suplementar líquida de irrigação, estabelecidas através do balanço hídrico no solo para as culturas selecionadas, estando a área a ser plantada limitada pelos demais usos do reservatório. O modelo também leva em consideração os diferentes tipos de sistemas de irrigação e suas necessidades de altura manométrica, as áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura, os custos de água e de produção, os aspectos econômicos e a combinação ou variação nas fontes de bombeamento e a quantidade de água captada.

A função objetivo do modelo é uma escalarização das (múltiplas) funções objetivo do problema, utilizando o Método das Ponderações na qual cada função objetivo é normalizada, sendo atribuídos pesos para definir as prioridades de atendimento (quando o peso for nulo a função objetivo não será considerada no processo de otimização).

Os critérios operacionais idealizados, em todos os cenários, observaram os seguintes pressupostos:

- O período de estudo corresponde a 10 (dez) anos iniciando no mês de janeiro.
- O volume inicial do reservatório foi de 238,29 hm³ (58% da capacidade de acumulação), que correspondente a média dos últimos 16 anos para o mês de janeiro.
- O volume do reservatório, ao final do período de estudo, deve ser maior ou igual ao volume inicial, garantindo a sustentabilidade hídrica;
- O volume meta do reservatório em todos os meses foi igual à capacidade do reservatório;
- As capacidades das adutoras destinadas ao abastecimento urbano foram consideradas iguais as suas respectivas demandas.

3.3 Dados utilizados

O abastecimento urbano das 18 cidades é realizado através dos sistemas adutores Boqueirão e Cariri.

Para a estimativa das demandas das adutoras consideradas, primeiramente, foi realizado um estudo, através de análise de regressão, do crescimento populacional das cidades atendidas e com previsão de atendimento pelas adutoras, com base nos dados dos censos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2009).

A estimativa da demanda média da j-ésima adutora ($Q_{d,j,n}$) foi calculada pela seguinte equação:

$$Q_{d,j,n} = \sum_i \text{Pop}_{i(j),n} \cdot \text{QPC}_j \quad (1)$$

sendo $\text{Pop}_{i(j),n}$ a população da i-ésima cidade atendida pela adutora j no ano n, QPC_j a quota per capita de água da adutora j.

A quota per capita de água (Tabela 1) das Adutoras de Boqueirão e do Cariri foi determinada através dos dados fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), através da Gerencia da Divisão de Controle Operacional, Regional Borborema considerando as demandas do ano de 2007, sendo incluindo o consumo para a lavagem dos filtros, retiradas por caminhões pipas e as perdas por distribuição.

Tabela 1 – Sistemas adutores do sistema estudado.

Sistema Adutor	Cidades atendidas	Quota per capita (l/had/dia)
Boqueirão	Campina Grande, Queimadas, Caturité, Pocinhos, Barra de Santana, Riacho de Santo Antônio, Barra de São Miguel, Alcantil*.	236,7
Cariri	Boqueirão, Cabaceiras, Boa Vista, Soledade, Seridó, Olivedos, Juazeirinho, Cubati, Pedra Lavrada, Tenório.	217,5

Segundo AIAB – Associação dos Irrigantes do Açude Boqueirão as culturas agrícolas cultivadas nas margens do reservatório, na safra e entressafra, são: tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola; no ano todo: mamão, banana, goiaba e limão (ALENCAR, 2009).

Para cada uma das culturas agrícolas foi designada uma área máxima (Tabela 2), não sendo estabelecidas áreas mínimas para as culturas agrícolas, de forma que as que não dessem um retorno financeiro adequado pudessem ser excluídas da solução ótima.

Tabela 2 – Áreas máximas das culturas agrícolas.

Culturas agrícolas	Área máxima (ha)
Tomate, pimentão, feijão, repolho	150
Alface, cebola, mamão e goiaba	100
Banana	350

Os valores da produtividade das culturas agrícolas, custo de produção e mão-de-obra requerida foram retirados Manual de Orçamento Agropecuário do Banco do Nordeste S/A (2006). O preço médio de comercialização foi obtido da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas – EMPASA. (EMPASA, 2010) para o ano de 2009. Os requerimentos de pressão referentes ao sistema de irrigação e os coeficientes de cultivo das culturas agrícolas estão de acordo com Gomes (1999). A eficiência de aplicação segue a disposta na Resolução nº 687 da Agencia Nacional de Águas (ANA, 2004).

A vazão mínima a ser liberada pelo reservatório para a perenização do trecho do rio Paraíba a jusante do mesmo, segundo informações da AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, é de cerca 1 m³/s.

Para o cálculo da precipitação direta no reservatório e da precipitação efetiva nas áreas irrigadas foram utilizados valores precipitados no posto pluviométrico Boqueirão (00736023).

Os dados de vazões afluentes ao reservatório foram fornecidos pela AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. A série sintética de vazões médias mensais foi gerada pelo o modelo hidrológico chuva×vazão MODHAC (Modelo Hidrológico Auto Calibrável), calibrado no posto fluviométrico Poço de Pedras, a partir de dados de precipitação totais diários, com extensão de 59 anos (1933 a 1991).

Os dados de evaporação no reservatório e no perímetro irrigado foram obtidos a partir de dados observados do tanque “Classe A” do posto climatológico de São João do Cariri. Os valores mensais do coeficiente de tanque kt foram estimados por Oliveira et al. (2005) para a região do cariri paraibano.

Os dados das curvas cota-área-volume do reservatório Boqueirão foi obtida do levantamento batimétrico da bacia hidráulica do mesmo (SEMARH, 2004 apud ALENCAR, 2009).

A capacidade máxima de armazenamento (volume máximo) do reservatório, fornecida pela AESA, é de 411,69 hm³. O volume morto foi considerado como sendo 11% da capacidade de armazenamento (45,93 hm³).

A vazão vertida máxima projetada para o vertedouro do reservatório, fornecida pela AESA, é de 2610 m³/s.

4 – ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

4.1 – Cenário 1

A demanda estabelecida para o abastecimento urbano, no cenário 1, foi atendida sem apresentar falha, como mostra a Figura 2.

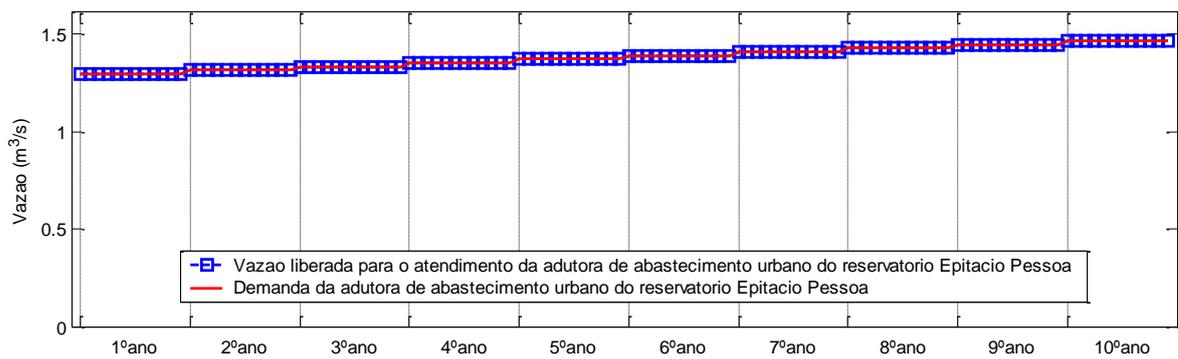


Figura 2 – Atendimento das demandas de abastecimento urbano para o cenário 1.

A Figura 3 apresenta o volume de água do reservatório Epitácio Pessoa nos 10 anos estudados para o cenário 1.

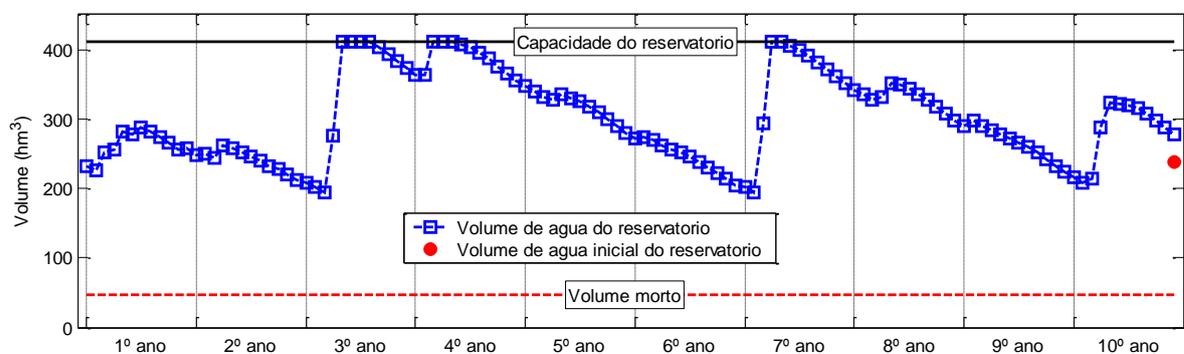


Figura 3 – Volume de água do reservatório Epitácio Pessoa para o cenário 1.

Tem-se que o volume de água armazenado no reservatório apresenta comportamento característico, diminuem entre agosto a janeiro (meses com menores vazões afluentes) aumentando na estação chuvosa (entre abril a maio). O volume final do reservatório é maior que o volume inicial proposto garantindo assim a sustentabilidade hídrica do reservatório para o período estudado. Observa-se uma queda acentuada do volume de água do reservatório no 5º e 6º ano chegando ao valor de 195,4 hm³ (47% da capacidade de acumulação do reservatório) por causa da pouca afluência nesse período (Figura 4).

Observa-se na Figura 5 que ocorreram vertimento apenas no 3º, 4º e 7º ano, anos estes que apresentam as maiores afluências ao reservatório. Os vertimento ocorreram entre os meses de março e junho. A média dos vertimento foi de 20,66 m³/s.

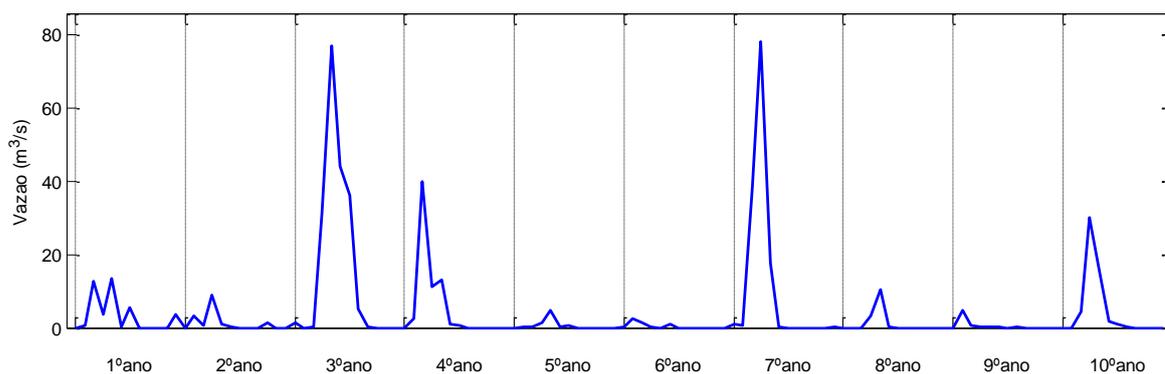


Figura 4 – Vazão afluente ao reservatório Epitácio Pessoa.

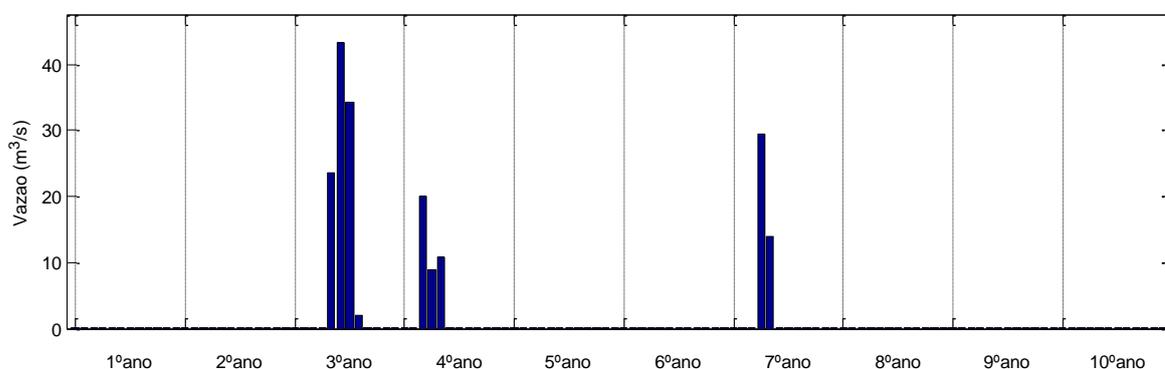


Figura 5 – Vazão vertida do reservatório Epitácio Pessoa no cenário 1.

A Tabela 3 apresenta os volume evaporados médios mensais do reservatório no cenário 1. Tem-se que os maiores volumes evaporados ocorrem entre os meses de outubro a dezembro.

Tabela 3 – Volume evaporado médio mensal (hm³) do reservatório Epitácio Pessoa no cenário 1.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
5,4	4,9	4,8	5,0	4,8	3,8	3,8	4,4	5,0	6,4	6,1	6,0	5,0

4.2 – Cenário 2

A demanda estabelecida para o abastecimento urbano, no cenário 2, foi atendida sem apresentar falha.

A Tabela 4 apresenta os valores médios anuais das áreas cultivadas de cada cultura agrícola e suas respectivas receitas líquidas, mão-de-obra e consumo hídrico para a área irrigada no cenário estudado. Tem-se que as culturas agrícolas sazonais são às mais alocadas (cerca de 1165 ha/ano, em média) devido principalmente ao menor consumo hídrico (cerca de 38% do consumo hídrico total). Tais culturas agrícolas sazonais representam mais de 80% de toda receita líquida oriunda da atividade agrícola e mais de 77% de toda mão de obra empregada, com destaque para a cultura agrícola do tomate que representa mais de 40% e de 30% de toda

receita líquida e da mão de obra, respectivamente. Entre as culturas agrícolas perenes destaca-se o cultivo da banana, que apesar de consumir mais de 49% de toda vazão, empregada mais 19% da mão de obra total. Tem-se que não foram alocadas áreas para as culturas agrícolas do feijão, mamão e goiaba.

Tabela 4 – Valores médios anuais da área cultivada, receita líquida auferida, mão-de-obra e vazão requerida de cada cultura agrícola cultivada no perímetro irrigado para o cenário 2.

Cultura	Área (ha/ano)	Receita Líquida (R\$/ano)	Mão-de-obra (diárias/ano)	Vazão (m ³ /s)
Tomate (s)	150,0	12.102.140,1	55.050,0	0,21
Pimentão (s)	150,0	991.374,8	28.800,0	0,26
Feijão (s)	0,0	0,0	0,0	0,00
Repolho (s)	100,0	1.688.611,1	14.200,0	0,10
Alface (s)	100,0	5.539.781,5	19.600,0	0,16
Cebola (s)	100,0	1.079.687,7	21.100,0	0,16
Tomate (es)	150,0	1.880.766,5	55.050,0	0,21
Pimentão (es)	115,3	99.114,4	22.128,6	0,26
Feijão (es)	0,0	0,0	0,0	0,00
Repolho (es)	100,0	355.692,7	14.200,0	0,10
Alface (es)	100,0	2.493.330,7	19.600,0	0,16
Cebola (es)	100,0	1.065.728,5	21.100,0	0,16
Mamão	0,0	0,0	0,0	0,00
Banana	320,0	4.263.224,8	68.160,0	2,28
Limão	100,0	2.362.521,0	14.600,0	0,57
Goiaba	0,0	0,0	0,0	0,00
Total	1.585,3	33.921.973,6	353.588,6	4,62

A Figura 6 mostra que vazão destinada ao suprimento hídrico do perímetro irrigado é variável, podendo a chegar a 1,1 m³/s, em períodos secos (setembro a novembro). A área utilizada anualmente no perímetro irrigado representa cerca 76 % da área máxima considerada, atingindo sua capacidade máxima sempre no período entre fevereiro e abril, na safra, e no período entre agosto e outubro, na entressafra, com exceção do 8º, 9º e 10º ano devido a disponibilidade hídrica do reservatório Epitácio Pessoa que, foi o fator limitante para o cultivo das culturas agrícolas neste cenário.

A Figura 7 apresenta o volume de água no reservatório para o cenário 2. Observa-se o mesmo comportamento característico ocorrido no cenário 1, com diferença apenas no 10º ano no qual o volume final do reservatório é igual ao volume inicial proposto garantindo, também, assim a sustentabilidade hídrica do reservatório para o período estudado.

Observa-se na Figura 8 que o vertimento ocorreu nos mesmos anos e meses do cenário 1, porém com menor intensidade no 7º ano. A média dos vertimento nesse cenário foi de 17,40 m³/s, menor do que no cenário 1.

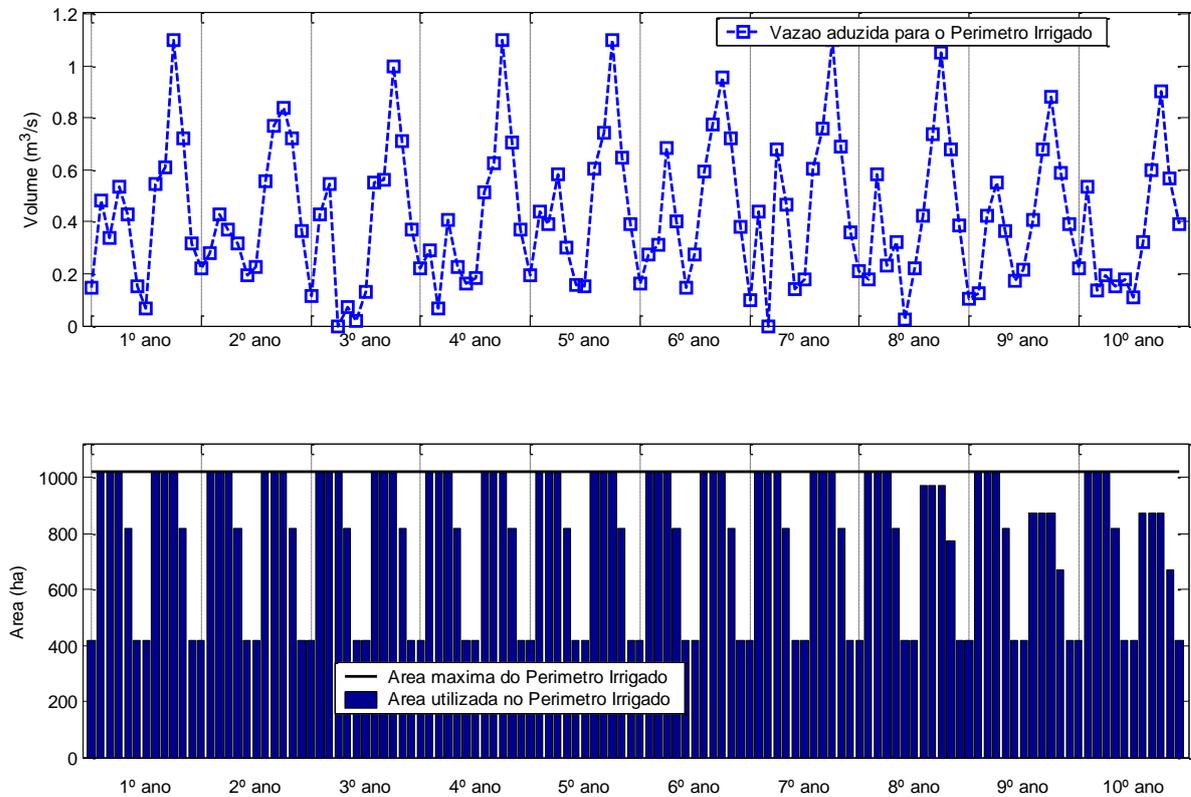


Figura 6 – Vazões aduzida e área utilizada no perímetro irrigado para o cenário 2.

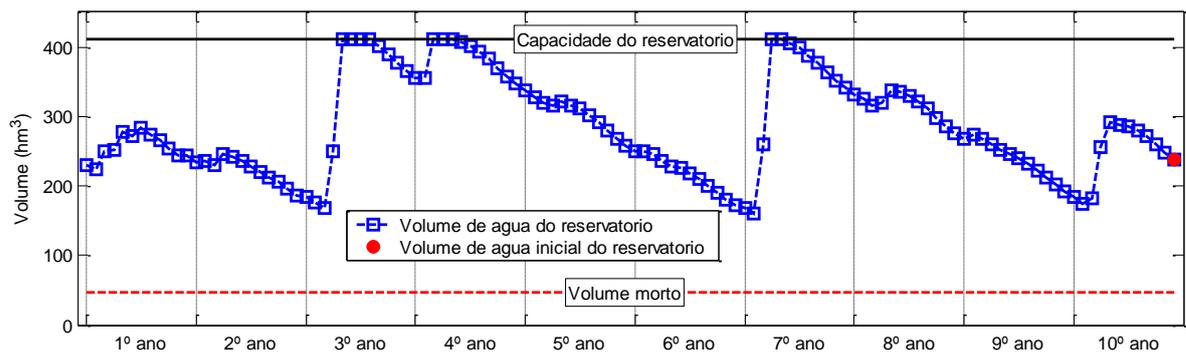


Figura 7 – Volume de água do reservatório Epitácio Pessoa para o cenário 2.

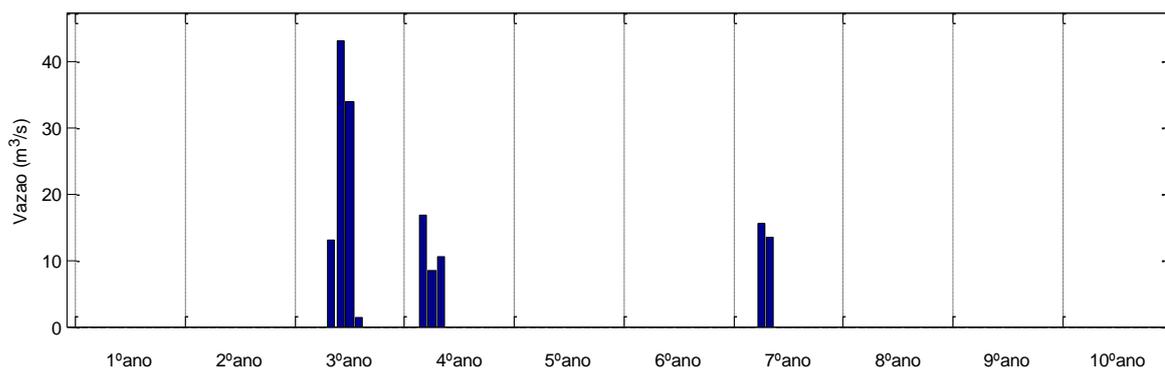


Figura 8 – Vazão vertida do reservatório Epitácio Pessoa no cenário 2.

A Tabela 5 apresenta os volume evaporados médios mensais do reservatório no cenário 1. Tem-se que, assim como no cenário 1, os maiores volumes evaporados ocorrem entre os meses de outubro a dezembro. Observa-se que houve uma diminuição no volume evaporado do reservatório (em torno de 4%, em media) devido ao maior consumo das águas para o atendimento das demandas propostas.

Tabela 5 – Volume evaporado médio mensal (hm³) do reservatório Epitácio Pessoa no cenário 2.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
5,2	4,6	4,5	4,8	4,7	3,7	3,7	4,3	4,8	6,2	5,8	5,6	4,8

4.3 – Cenário 3

Neste cenário a demanda estabelecida para o abastecimento urbano foi atendida sem apresentar falhas.

A Figura 9 apresenta a vazão defluente liberada pelo reservatório para a perenização do rio a jusante do reservatório. Tem-se que a partir do 7º ano tal demanda não é atendida devido à disponibilidade hídrica do reservatório.

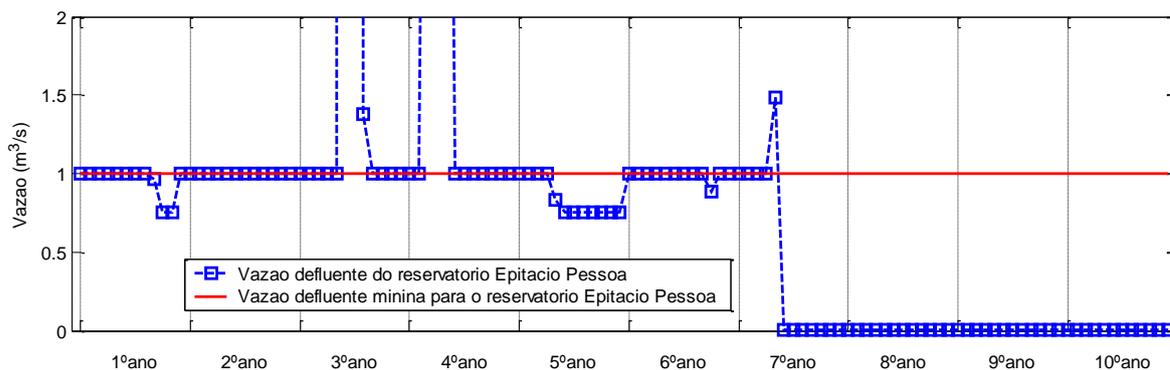


Figura 9 – Vazão defluente do reservatório Epitácio Pessoa no cenário 3.

A Figura 10 apresenta o volume de água no reservatório para o cenário 3. Observa-se o comportamento similar ao ocorrido no cenário 2, com diferença no menor volume de água registrado no período 94,96 hm³ (23% da capacidade de

acumulação do reservatório) por causa do atendimento das demandas estabelecidas nesse cenário.

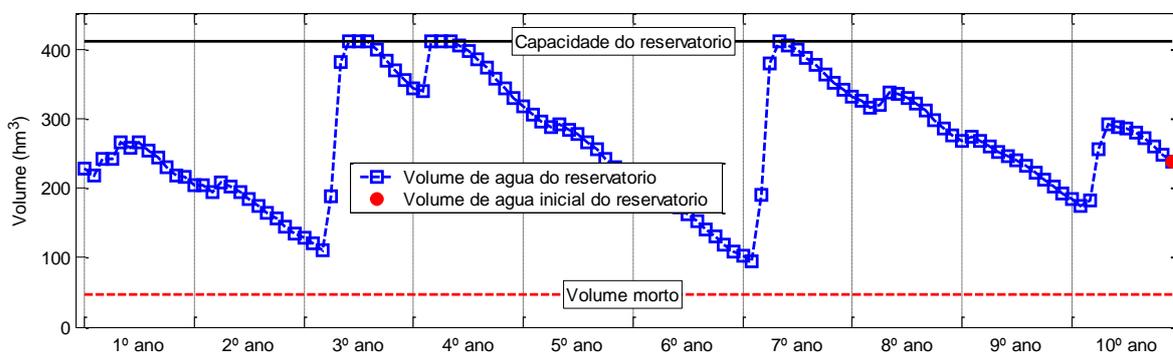


Figura 10 – Volume de água do reservatório Epitácio Pessoa para o cenário 3.

Com incremento da vazão para a perenização do rio a jusante do reservatório houve diminuição da área cultivada da banana (Tabela 6) reduzindo o seu suprimento hídrico o que permitiu cultivar o feijão na safra e o mamão, não ocorrendo mudanças significativas na mão de obra empregada, na receita líquida e no consumo hídrico do perímetro irrigado.

Tabela 6 – Valores médios anuais da área cultivada, receita líquida auferida, mão-de-obra e vazão requerida de cada cultura agrícola cultivada no perímetro irrigado para o cenário 3.

Cultura	Área (ha/ano)	Receita Líquida (R\$/ano)	Mão-de-obra (diárias/ano)	Vazão (m³/s)
Tomate (s)	150,0	12.102.140,1	55.050,0	0,21
Pimentão (s)	150,0	991.374,8	28.800,0	0,26
Feijão (s)	0,1	30,1	6,9	0,00
Repolho (s)	100,0	1.688.611,1	14.200,0	0,10
Alface (s)	100,0	5.539.781,5	19.600,0	0,16
Cebola (s)	100,0	1.079.687,7	21.100,0	0,16
Tomate (es)	150,0	1.880.766,5	55.050,0	0,21
Pimentão (es)	116,4	100.068,2	22.342,8	0,26
Feijão (es)	0,0	0,0	0,0	0,00
Repolho (es)	100,0	355.692,7	14.200,0	0,10
Alface (es)	100,0	2.493.330,7	19.600,0	0,16
Cebola (es)	100,0	1.065.728,5	21.100,0	0,16
Mamão	0,7	4.122,8	131,0	0,01
Banana	318,9	4.248.101,6	67.918,2	2,27
Limão	100,0	2.362.521,0	14.600,0	0,57
Goiaba	0,0	0,0	0,0	0,00
Total	1.586,0	33.911.957,2	353.698,9	4,62

Observa-se na Figura 11 a diminuição do volume vertido. A média dos vertimentos nesse cenário foi de 12,84 m³/s, bem menor do que no cenário 2.

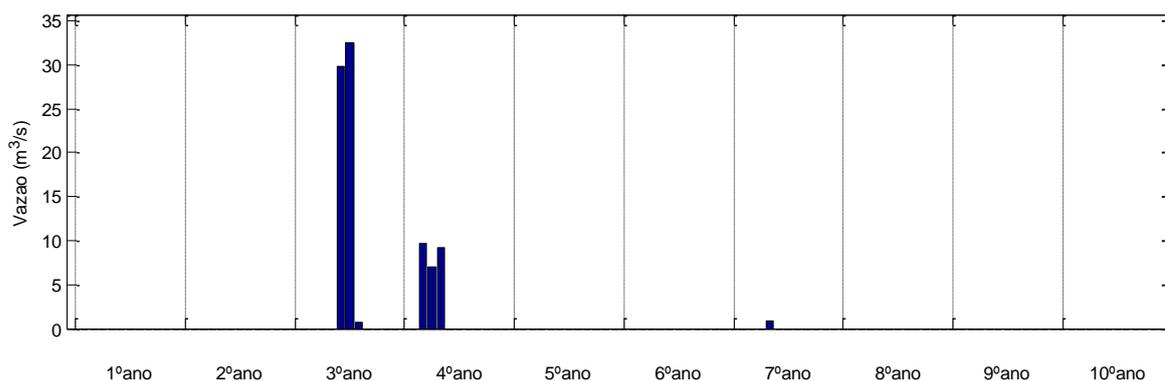


Figura 11 – Vazão vertida do reservatório Epitácio Pessoa no cenário 3.

A Tabela 7 apresenta os volume evaporados médios mensais do reservatório no cenário 3. Observa-se comportamento similar ao cenário 1 e 2, com os maiores volumes evaporados ocorrendo entre os meses de outubro a dezembro. Observa-se que houve uma diminuição no volume evaporado do reservatório (em torno de 10%, em média em comparação com o cenário 1) devido ao maior consumo das águas para o atendimento das demandas propostas.

Tabela 7 – Volume evaporado médio mensal (hm³) do reservatório Epitácio Pessoa no cenário 3.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
4,8	4,3	4,2	4,5	4,5	3,5	3,6	4,1	4,6	5,8	5,4	5,3	4,5

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou o estudo da sustentabilidade do atendimento das demandas através da operação ótima, multiobjetiva, plurianual e integrada das disponibilidades e usos dos recursos hídricos do reservatório Epitácio Pessoa.

Os resultados mostram que as demandas de abastecimento urbano, são atendidas com 100% de garantia, em todos os cenários operacionais propostos para os 10 anos estudados.

A atividade agrícola pode ser desenvolvida no reservatório Epitácio Pessoa, considerando a afluência, sem comprometer a demanda de abastecimento urbano das cidades (cenário 2), desde que seja realizado um estudo de quais culturas agrícolas deve ser cultivadas e em qual época do ano. Tal estudo deve considerar os diversos interesses dos agentes envolvidos, a aptidão do solo e dos agricultores com determinada cultura agrícola, variabilidade hidroclimática ao longo do tempo.

Entretanto, a demanda proposta pelo órgão gestor das águas do estado da Paraíba (AESAs) para a perenização do rio a jusante ao reservatório não é sustentável, podendo não ser atendida por três anos consecutivos.

A inclusão de demandas ao reservatório diminui as perdas por evaporação e vertimento.

REFERÊNCIAS

- AESA (2010). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Plano Estadual dos Recursos Hídricos. Relatório Final. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>. . Data da consulta: 15 de março de 2010.
- ALBUQUERQUE, A. S. O.; ANDRADE, P. R. G. S.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Uma Análise da Operação de um Sistema de Cinco Reservatórios do Alto Capibaribe, Pernambuco. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Curitiba, PR, Brasil. Anais... Curitiba/PR: 23 a 27 de Novembro de 2003, CD-ROM.
- ALENCAR, V. C. Análises multiobjetivo, baseada em programação linear, e comparativas para agriculturas de manejo convencional e orgânico. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2009, p. 374.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Resolução nº 687 de 03 de Dezembro de 2004.
- BANCO DO NORDESTE S/A. Manual de Orçamentos Agropecuários. Campina Grande – PB, 2006.
- BERBERT, C. O. O Desafio das Águas. In: MARTINS, V. (Org.). Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais. São Carlos: Rima, 2003, pp. 81-97.
- BRAVO, J. M., COLLISCHONN, W., PILAR, J. V. Otimização da Operação de Reservatórios: Estado-da-Arte. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, João Pessoa, PB, Brasil. Anais... João Pessoa/PB: 20 a 24 de Novembro de 2005, CD-ROM.
- BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; PORTO, E. R. Disponibilidade de Água e a Gestão dos Recursos Hídricos. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (Ed.) Potencialidades da Água de Chuva no Semiárido Brasileiro. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2007, pp.15-32.
- CURI, R. C.; CURI, W. F.; OLIVEIRA, M. B. A. Análise de Alterações na Receita Líquida de um Perímetro Irrigado no Semi-Árido sob Condições de Variações Hídricas e Econômicas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 9, n. 3, jul/set 2004, pp. 39-53.
- EMPASA. Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. Disponível em: <http://www.empasa.pb.gov.br/cotacoes.php>. Data da consulta: 20 de dezembro de 2010.

GOMES, H. P. Engenharia de Irrigação Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento. 3ª Ed. Campina Grande: Editora Universitária – UFPB, 1999.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php. Data da consulta: 15 de março de 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Data da consulta: 18 de julho de 2009.

LABADIE, J. W. Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-Of-The-Art Review. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 130, n. 2, mar 2004, pp. 93-111.

LANNA, A. E. Introdução. In: PORTO, R. L. L. (Org.). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2002, pp. 16-41.

LIMA, H. V. C., LANNA, A. E. L. Modelos para Operação de Sistemas de Reservatórios: Atualização do Estado da Arte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.10, n. 3, jul/ago 2005, pp. 5-22.

OLIVEIRA, J. A.; LANNA, A. E. L. Otimização de um Sistema de Reservatórios Atendendo a Múltiplos Usos no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 2, n.2, abr/jun 1997, pp. 123-141.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; GALVÃO, C. O.; LEITÃO, T. H. V. Estimativa da Evaporação e Análise de Uso do Coeficiente (kp) do Tanque Classe A nas Regiões do Cariri e Sertão da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 10, n. 4, out/dez 2005, pp. 73-83.

REGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; RIBEIRO, M. M. R. (2000). Uma Análise da Crise de 1998-2000 no Abastecimento D'água de Campina Grande - PB. In: V SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, Natal, RN, Brasil. Anais... Natal/RN: 21 a 24 de Novembro de 2000, CD-ROM.

RIBEIRO, W. C. Água Doce: Conflitos e Segurança Ambiental. In: MARTINS, V. (Org.). *Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais*. São Carlos: Rima, 2003, pp. 71-77.

SANTOS, V. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; VIEIRA, A. S. Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistema de Recursos Hídricos I: Metodologia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.16, n. 4, out/dez 2011, pp.49 – 60.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 2ª ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.

VIEIRA, Z. M. C. L. *Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas de gestão da demanda de água*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2008, p. 255.

WURBS, R. A. *Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models*. Technical Report n. 282. Texas Water Resources Institute, 2005.