



## **Análise dos indicadores de desempenho de áreas irrigadas no município de Boqueirão, estado da Paraíba**

### ***Analysis of performance indicators irrigated areas of in the municipality of Boqueirão, state of Paraíba***

*João Paulo de Oliveira Simões<sup>1</sup>, Silvânia Lucas dos Santos<sup>2</sup>*

**Resumo:** Este trabalho teve como objetivo analisar os indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas no município de Boqueirão, estado da Paraíba, cultivadas com culturas agrícolas sazonais (safra e entressafra) e perenes, verificando o potencial de utilização dos recursos hídricos do reservatório no atendimento das demandas de irrigação, além de demandas de abastecimento urbano. Os dados de precipitação pluviométrica e vazões afluentes, utilizados nesta pesquisa, foram obtidos por meio da Agência Nacional de Águas - ANA, compreendendo um período normal de precipitação de 10 anos (1976-1985), sem ocorrências de períodos de estiagens. Para a análise do desempenho do sistema hídrico foi utilizado um modelo de otimização, baseado em programação linear. Na avaliação do desempenho das áreas irrigadas, quanto à eficiência no uso da água, foram verificadas algumas perdas consideráveis, reveladas pelos indicadores utilizados. Os resultados mostraram que, com a utilização da série pluviométrica normal, o sistema hídrico não apresentou falhas no atendimento às demandas de irrigação e de abastecimento urbano, durante os 10 anos de estudo, garantindo sua sustentabilidade hídrica.

**Palavras-chave:** indicadores de desempenho, áreas irrigadas, otimização

**Abstract:** This work aimed to analyze the performance indicators associated with the irrigated areas in the city of Big hole, state of Paraíba, cultivated with seasonal crops (crop and off season) and perennials, checking the potential use of water resources from the reservoir in attendance the irrigation demand, beyond urban supply demands. The data of rainfall and inflows, used this research, were obtained through the National Water Agency - ANA, comprising a period of normal rainfall of 10 years (1976-1985) without occurrences of periods droughts. To analyze of performance of the hidric system was used an optimization model based on linear programming. In review the performance of irrigated areas, how much efficiency in water use, were verified some losses considerable, revealed by the indicators used. The results showed that, with the use of the normal rainfall series, the hidric system no submitted failures in attendance the demands of irrigation and of urban supply, during the 10 years of study, ensuring its hidric sustainability.

**Keywords:** performance indicators, irrigated areas, optimization

\*Autor para correspondência

Recebido em 02/06/2014 e aceito em 28/09/2014

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. E-mail: joaopaulo\_2005@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. E-mail: silvania\_sls@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

Os indicadores de desempenho são elementos fundamentais para a mensuração da performance, assim como para a definição das variáveis que melhor representem o desempenho geral de perímetros irrigados (CALLADO et al., 2007). A sua principal característica é a de poder sintetizar um conjunto complexo de informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados.

Os indicadores tendem a avaliar o desempenho dos perímetros irrigados de maneira detalhada, entretanto, o nível de detalhes dentro do processo de desempenho depende do propósito da avaliação, tendo em vista que o custo da coleta e o manuseio de todos os dados relacionados, não são utilizados no manejo do projeto diariamente, havendo, portanto, a necessidade de se definir um conjunto de indicadores (BRITO & BOS, 1997).

O desempenho de um sistema engloba as atividades de aquisição dos insumos e a transformação dos mesmos em produtos finais e intermediários e os efeitos destas atividades no próprio sistema e no ambiente externo (LEITE et al., 2009). Os indicadores buscam organizar a informação de forma a deixar clara a relação entre os recursos alocados a um projeto e os impactos, resultados ou rendimentos obtidos, de forma a permitir a identificação de problemas que possam impedir o alcance dos objetivos propostos.

Os indicadores auxiliam na análise do desempenho do sistema hídrico, fornecem informações sobre possíveis problemas, além de darem suporte para os decisores realizarem suas escolhas. Em relação aos

indicadores de sustentabilidade para as atividades de agricultura irrigada, eles podem apontar ou não para a viabilidade dessa atividade dentro do sistema.

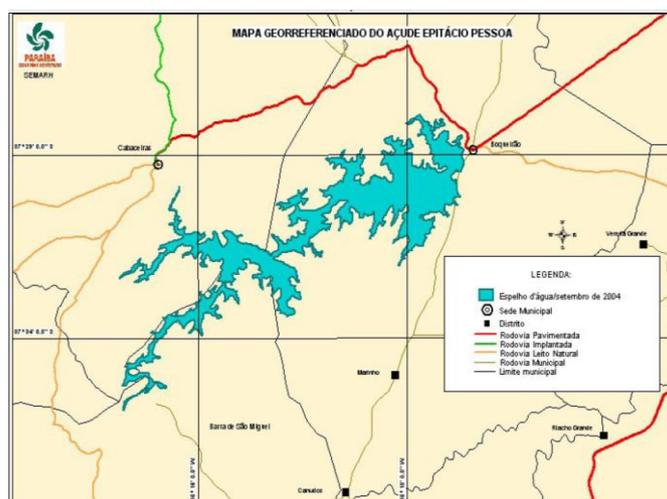
Marzall e Almeida (1999) salientam que um dos aspectos críticos é a metodologia a ser adotada tanto para a determinação do indicador quanto para sua leitura e interpretação. Independente da escolha, esta deve ser clara e transparente, não deixando dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo.

Com isso, o objetivo do presente trabalho foi analisar os indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas do município de Boqueirão, Paraíba, cultivadas com culturas sazonais (safra e entressafra) e perenes, verificando o potencial de utilização dos recursos hídricos do açude Epitácio Pessoa no atendimento das demandas de irrigação, além de demandas de abastecimento urbano. Para tanto foi utilizado um modelo de otimização, baseado em programação linear, desenvolvido por Santos et al. (2011).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A área de estudo, caracterizada por apresentar baixas precipitações pluviométricas e elevadas taxas evaporativas, encontra-se geograficamente localizada entre as coordenadas 07°28'04'' e 07°33'32'' de latitude sul, 36°08'23'' e 36°16'51'' de longitude oeste, a 420 m de altitude. Sua bacia de contribuição cobre uma área de 12.410 km<sup>2</sup>, sendo atualmente sua capacidade de acumulação de aproximadamente 411.686.287 m<sup>3</sup> na cota 361 m (SEMARH, 2004; DNOCS, 2007).



**Figura 1.** Mapa georreferenciado do reservatório público Epitácio Pessoa (mais conhecido com açude Boqueirão), Boqueirão - PB

Situada a oeste da capital João Pessoa, PB, a cerca de 45 km da cidade de Campina Grande, PB, a área de estudo possui mais de 500 irrigantes cadastrados e cinco mil pessoas que dependem diretamente da irrigação (AIAB, 2013). O volume mensal retirado para a irrigação é de aproximadamente 0,95 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (RÊGO et al., 2012).

As demandas hídricas consideradas na área de estudo dizem respeito à irrigação de uma área total

estipulada em 1.700 hectares com culturas anuais e perenes, cultivada nas margens do reservatório Epitácio Pessoa (AIAB, 2012) e ao abastecimento urbano de todo o compartimento da Borborema, abrangendo uma população aproximada de 506.734 habitantes (SEMARH, 2006).

Suas águas são 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 a prática de piscicultura extensiva e intensiva; para o turismo e o lazer (DNOCS, 2007).

Os dados e informações utilizadas para análise do desempenho das áreas irrigadas, do referido local de estudo, abrangem informações hidroclimáticas, dados do reservatório, dados hidroagrícolas, características

agrônomicas das culturas, além de aspectos socioeconômicos e ambientais.

As principais culturas agrícolas cultivadas na área são: tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola (safra e entressafra) e banana e coco. Na Tabela 1 são apresentados os dados das áreas máximas exploradas com as culturas selecionadas nesta pesquisa (BNB, 2012) mais os dados operacionais dos sistemas de irrigação utilizados (GOMES, 1999).

**Tabela 1.** Dados das áreas das culturas, sistemas de irrigação e suas eficiências de aplicação

Culturas	Área máxima (ha)	Sistema de irrigação	Eficiência de aplicação (%)	Pressão de Serviço (mca)
Tomate	150	Gotejamento	95	10
Pimentão	150	Gotejamento	95	10
Feijão	150	Sulco	50	0
Repolho	100	Gotejamento	95	10
Alface	50	Sulco	50	0
Cebola	100	Gotejamento	95	10
Banana	600	Microaspersão	85	15
Coco	100	Microaspersão	85	15

Fonte: Gomes (1999); BNB (2012).

### Indicadores de desempenho das áreas irrigadas

De acordo com Brito (1986) diversos fatores contribuem para o desempenho dos perímetros irrigados, sejam eles técnico-econômicos ou sociais. Um dos aspectos primordiais na análise desses fatores é a possibilidade de monitorá-los, o que significa transformá-los, de algum modo, em parâmetros mensuráveis. O nível desse monitoramento deverá estar situado entre o “desejável” e o “viável”, considerando-se, para isso, o padrão da avaliação que se pretende proceder e os custos operacionais necessários à medição dos indicadores. A seguir serão descritos os indicadores de desempenho utilizados na análise do desempenho das áreas irrigadas em estudo.

#### Fornecimento Relativo de Água (FRA)

O Fornecimento Médio de Água relaciona o suprimento total de água, ou seja, o volume fornecido através da irrigação ( $V_f$ ) mais precipitação efetiva ( $Pe$ ), com a demanda hídrica das culturas ( $ETP$ ).

$$FRA = \frac{V_f + Pe}{ETP} \quad (1)$$

onde,  $V_f$  é o volume fornecido na área irrigada ( $m^3$ );  $Pe$  é a precipitação efetiva ( $m^3$ );  $ETP$  é a evapotranspiração potencial das culturas ( $m^3$ ).

#### Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI)

Este indicador expressa apenas o volume fornecido através da irrigação ( $V_f$ ), sem considerar a precipitação efetiva ( $Pe$ ) com a demanda de água das culturas ( $ETP$  -

$Pe$ ). Indica o percentual de água utilizado para atender a necessidade hídrica da cultura.

$$FRI = \frac{V_f}{ETP - Pe} \quad (2)$$

#### Razão Global de Consumo (RGC)

O índice  $RGC$  está intimamente relacionado com o manejo de água e com o nível tecnológico da infraestrutura de irrigação do projeto. O volume de água fornecido ao projeto é determinado como uma função do uso consuntivo das culturas. Em outras palavras, a água fornecida que poderia adequadamente alcançar as necessidades das culturas no projeto.

A razão global de consumo quantifica a fração da irrigação evapotranspirada pelas culturas no balanço hídrico da área irrigada.

$$RGC = \frac{ETP - Pe}{V_f} \quad (3)$$

#### Fornecimento Médio de Água (FMA)

Conforme Brito et al. (1998), a definição em termos de volume por hectare, dá uma indicação sobre a quantidade de água que está sendo utilizada para produzir um hectare de área cultivada. A equação do fornecimento médio de água as áreas irrigadas do sistema é obtido conforme a expressão a seguir:

$$FMA = \frac{V_f}{Área Irrigada} \quad (4)$$

### Capacidade de Uso das Instalações (CUI)

O indicador de Capacidade de Uso das Instalações (CUI) relaciona o percentual de área irrigada pela área do perímetro.

$$CUI = \frac{\text{Área Irrigada}}{\text{Área Total do Perímetro}} \quad (5)$$

### Critérios operacionais

Os critérios operacionais idealizados para todos os cenários observaram os seguintes pressupostos:

- O volume inicial do reservatório Boqueirão foi estabelecido como sendo 70% da capacidade do mesmo, correspondente ao menor valor do dia 1º de janeiro da série histórica dos volumes de água do reservatório;
- O volume do reservatório, ao final do período de estudo, deve ser maior ou igual ao volume inicial, garantindo a sustentabilidade hídrica das atividades econômicas;
- O volume meta do reservatório, em todos os meses, foi considerado igual à capacidade do mesmo.

Para a operação da área irrigada foram observados os seguintes pressupostos:

- O calendário agrícola estabelecido para a área irrigada é mantido invariável para todos os cenários estudados e as culturas agrícolas permanentes estão em plena capacidade de produção;
- No cálculo das demandas de irrigação considerou-se não existir dotação por capilaridade na zona radicular das plantas;
- Quanto à capacidade do sistema adutor para o perímetro irrigado considerou-se um sistema formado de 5 bombas com uma vazão de  $1,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  trabalhando 20 horas dia<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos indicadores de desempenho associados às parcelas irrigadas podem ser visualizados na Tabela 2, a seguir.

**Tabela 2.** Indicadores de desempenho das áreas irrigadas

FRA	FRI	RGC	FMA	CUI
1,407	1,589	0,629	0,196	0,681

O Fornecimento Relativo de Água (FRA) indicou que a quantidade de água disponibilizada para as áreas irrigadas foi aproximadamente 41% superior à demanda hídrica das culturas. O Fornecimento Relativo à irrigação (FRI) indicou que foi gasto 59% a mais da demanda suplementar hídrica da cultura. A Razão Global de Consumo (RGC) foi de 63%, indicando o nível tecnológico da infraestrutura do projeto de irrigação (eficiência média na aplicação da água). O Fornecimento Médio de Água (FMA) indicou que foram fornecidos  $0,19 \text{ l s}^{-1}$  para produzir um hectare de área cultivada. A Capacidade de Uso das Instalações (CUI) foi de 68%.

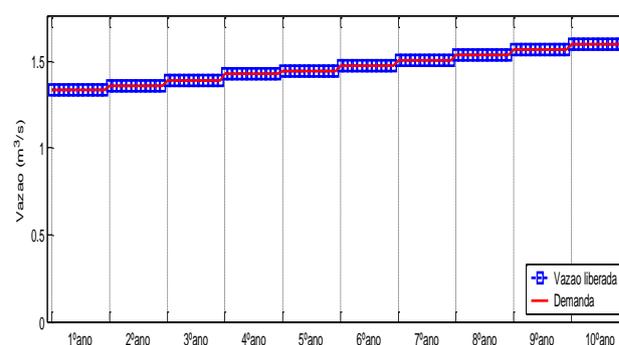
A Tabela 3 apresenta os valores médios anuais das áreas alocadas para as culturas anuais (safra e entressafra) e perenes (fruteiras) com seus respectivos volumes de irrigação requeridos para o atendimento das necessidades hídricas das culturas.

**Tabela 3.** Resultados da agricultura irrigada para as culturas agrícolas sazonais e perenes

Culturas agrícolas	Área plantada (ha)	Volume de irrigação (hm <sup>3</sup> )
Tomate (s)	150	0,29
Pimentão (s)	150	0,15
Feijão (s)	150	0,50
Repolho (s)	100	0,06
Alface (s)	50	0,02
Cebola (s)	100	0,03
Tomate (es)	150	0,29
Pimentão (es)	150	0,15
Feijão (es)	150	0,50
Repolho (es)	100	0,06
Alface (es)	50	0,02
Cebola (es)	100	0,03
Banana (p)	178,41	2,79
Coco (p)	100	1,15
<b>Total</b>	<b>1.678,41</b>	<b>6,12</b>

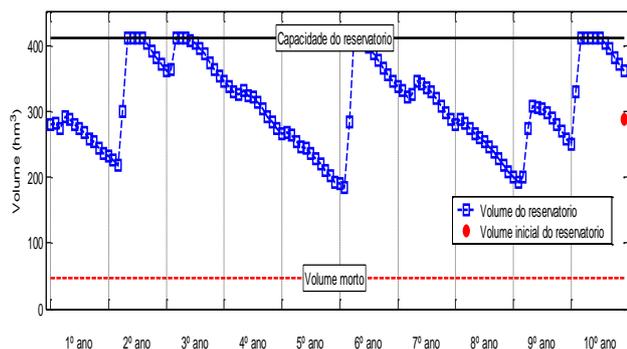
**Legenda:** (s) - safra; (es) - entressafra; (p) - perenes.

As demandas para atendimento das adutoras de irrigação e abastecimento urbano foram atendidas satisfatoriamente, como ilustra a Figura 2. Não houve falhas no atendimento às demandas requeridas, mostrando que o sistema manteve-se funcionando durante todo o período investigado (10 anos de otimização).



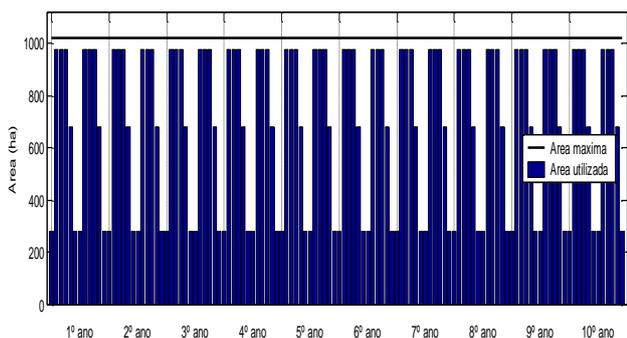
**Figura 2.** Vazões liberadas e demandas para atendimento das áreas irrigadas e da adutora de abastecimento urbano

A sustentabilidade hídrica do reservatório foi atendida, ficando o seu volume final maior que o volume inicial estabelecido (CURI & CURI, 2001), como mostra a Figura 3. O volume de água do reservatório apresentou uma variação média de  $312 \text{ hm}^3 \text{ mês}^{-1}$ , com os menores volumes registrados no segundo semestre de cada ano, coincidindo com o período de maior demanda hídrica.



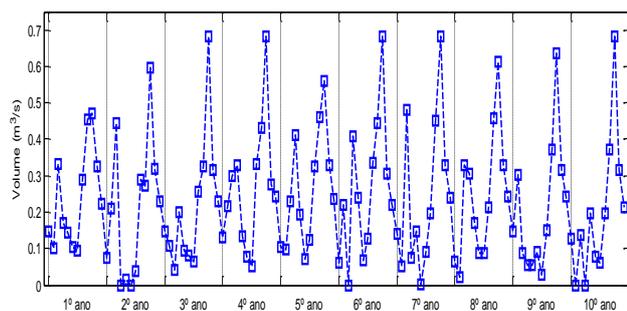
**Figura 3.** Comportamento hídrico do reservatório de Boqueirão e suas variabilidades volumétricas

A Figura 4 apresenta as áreas alocadas para as culturas sazonais e perenes, ao longo do período investigado. Foi disponibilizado, através das análises otimizantes, uma área cultivada total de 978,41 ha ano<sup>-1</sup>, distribuídos anualmente com 700 ha para as culturas sazonais de safra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola), 700 ha para as culturas sazonais de entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) e 278,41 ha para as culturas perenes (banana e coco).



**Figura 4.** Alocação da área plantada para as culturas agrícolas irrigadas

A Figura 5 mostra as vazões aduzidas para as áreas irrigadas, durante os 120 meses estudados. Observa-se que os maiores volumes de irrigação, requeridos para o atendimento das necessidades hídricas das culturas ocorreram no segundo semestre de cada ano, onde as precipitações são bem menores (estação seca). As vazões de irrigação aduzidas para as áreas irrigadas, durante os 10 anos pesquisados, apresentaram uma média mensal de 0,23 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.



**Figura 5.** Vazões aduzidas para as áreas irrigadas

## CONCLUSÕES

No que concerne ao desempenho das parcelas irrigadas, ao longo de todo o período investigado (1976-1985) foi verificada certa perda de água na distribuição e aplicação, reveladas pelos indicadores FRA (Fornecimento Relativo de Água) e FRI (Fornecimento Relativo de Irrigação). O FRA indicou que, em média, a quantidade de água disponibilizada para as parcelas irrigadas foi 41% superior à demanda hídrica das culturas agrícolas, enquanto o FRI indicou que foram gastos 59% a mais da demanda hídrica da cultura para atender suas necessidades hídricas.

O Fornecimento Médio de Água (FMA) indicou que foram fornecidos 0,19 litros por segundo, dando uma indicação sobre o quanto de água está sendo utilizada para produzir um hectare de área cultivada. O RGC foi de 63%, indicando a eficiência do nível tecnológico da infraestrutura de irrigação do projeto (alocou mais área nas culturas que usaram gotejamento e micro aspersão, com eficiências de aplicação de 95% e 85%, respectivamente). A Capacidade de Uso das Instalações (CUI), que é a relação de área irrigada e área total do perímetro ficou em torno de 68%.

Com a utilização de uma série pluviométrica normal (sem ocorrências de períodos de secas) o sistema hídrico não apresentou falhas no atendimento as demandas de irrigação e de abastecimento urbano, durante os 10 anos de otimização, garantindo sua sustentabilidade hídrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIAB. Associação dos Irrigantes do Açude Boqueirão. **Cadastro dos irrigantes**. Documento não publicado. Boqueirão - PB, 2013.
- AIAB. Associação dos Irrigantes do Açude Boqueirão. **Cadastro de áreas irrigadas**. Documento não publicado. Boqueirão - PB, 2012.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Sistemas de Informações Hidrológicas - 2001**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 17 de setembro de 2012.
- BNB. Banco do Nordeste do Brasil. **Planilhas de orçamentos agrícolas 2012**. Disponível em meio digital. Campina Grande - PB, 2012.
- BRITO, R. A. L. Avaliação do desempenho de um perímetro irrigado: proposta para um modelo conceitual. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Brasília, DF. **Anais da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, Brasília - DF, 1986.
- BRITO, R. A. L.; BOS, M. G. **Irrigation performance assessment in Brazil**. Sete Lagoas: Embrapa, 1997. 28p.

- BRITO, R. A. L.; SOARES, J. M.; CAVALCANTI, E. B.; BOS, M. G. Irrigation performance assessment for Nilo Coelho Scheme in Northeastern Brazil: a preliminary analysis. In: **Afro-Asian Regional Conference**, 1998.
- CALLADO, A. L. C.; CALLADO, A. A. C.; ALMEIDA, M. A. A utilização de indicadores de desempenho não financeiros em organizações agroindustriais: um estudo exploratório. **Revista Organizações Rurais & Agroindustriais**, v.10, n.1, p. 35-48, 2008.
- CURI, W. F.; CURI, R. C. CISDERGO: Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater Optimal Operation. In: V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos. **Anais do V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**, Aracaju - SE, 2001.
- DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Estudo da viabilidade ambiental do açude público Eptácio Pessoa**. João Pessoa - PB, 2007.
- GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. Campina Grande: Editora da Universidade Federal da Paraíba, 1999. 412p.
- LEITE, K. N.; VASCONCELOS, R. S.; CARVALHO, C. M.; COSTA, R. N. T.; CAMBOIM NETO, L. F.; MONTEIRO, R. N. F. Análise dos indicadores de sustentabilidade dos perímetros irrigados do Baixo Acaraú e Curu, localizados no estado do Ceará. **Revista Agrarian**, v.2, n.6, p.83-91, 2009.
- MARZALL, K.; ALMEIDA, J. **O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas**. Santa Maria: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, 1999.
- REGO, J. C.; GALVÃO, C. O.; ALBUQUERQUE, J. P. T. Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do açude Eptácio Pessoa - Boqueirão na bacia hidrográfica do rio Paraíba em cenários de vindouros anos secos. In: **Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, João Pessoa - PB, 2012.
- 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, p.49-60, 2011.
- SEMARH. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **Plano estadual de recursos hídricos. Resumo executivo e atlas**. Brasília - DF, 2006. 112p.
- SEMARH. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Minerais. **Levantamento batimétrico do açude Eptácio Pessoa**. Boqueirão - PB, 2004.