

## **ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA O USO DAS ÁGUAS DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO DO EIXO LESTE NO ESTADO DA PARAÍBA ATRAVÉS DE UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO MULTI OBJETIVO**

*David Silva Lúcio Oliveira<sup>1</sup>; Wilson Fadlo Curi<sup>2</sup>; Valterlin da Silva Santos<sup>3\*</sup>*

**Resumo** – Uma das soluções propostas para resolver a escassez de água no nordeste brasileiro é o Projeto de Integração do Rio São Francisco. No Estado da Paraíba, a bacia hidrográfica do Rio Paraíba irá receber a água exógena através do Eixo Leste do projeto. Diante da importância do projeto de integração e da implantação de um gerenciamento adequado, este trabalho objetiva analisar uma proposta de uso das águas da bacia do Rio Paraíba em dois cenários diferentes após a transposição com enfoque nos açudes Poções, Camalaú, Epitácio Pessoa e Argemiro de Figueiredo. Tais cenários foram avaliados através de um modelo de otimização multiobjetivo baseado em programação linear, objetivando avaliar o desempenho dos diversos usos da água. Os resultados obtidos demonstram que as demandas de abastecimento urbano foram atendidas plenamente em todos os cenários. Tem-se que as demandas de irrigação sofreram forte influência da vazão exigida pelo canal de integração Acauã-Araçagi. Conclui-se também, que a vazão máxima estimada para o canal de integração não é sustentável.

**Palavras-Chave** – Transposição. Otimização. Programação Linear.

## **ANALYSIS OF ALTERNATIVES TO THE USE OF WATER OF PROJECT INTEGRATION OF THE SÃO FRANCISCO RIVER OF THE EAST SHAFT IN THE PARAÍBA STATE THROUGH A MODEL MULTI OBJECTIVE OPTIMIZATION**

**Abstract** – One of the proposed solutions to solve water scarcity in northeastern Brazil is the Integration Project of the San Francisco River. In the State of Paraíba, the watershed of the Rio Paraíba will receive exogenous water through the East Axis project. Given the importance of the integration and implementation of proper management, this paper aims to analyze two proposed use of waters of the Paraíba river basin in two different scenarios after transposition focusing on the Poções, Camalaú, Epitácio Pessoa and Argemiro de Figueiredo reservoirs. Such scenarios were assessed using a multi-objective optimization model based on linear programming, to evaluate the performance of the various uses of water. The results show that the demands of urban water supply have been fully met in all scenarios. It is that the irrigation demands were strongly influence the flow required by channel integration Acauã-Araçagi. We also conclude that the maximum flow estimated for channel integration is not sustainable, and lower cost estimates were obtained with the alternative proposed by the AESA, and is considered the best for all objectives.

**Keywords** – Transposition. Optimization. Linear Programming.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, eng.davidlucio@gmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, wfcuri@gmail.com.

<sup>3\*</sup> Universidade Federal de Campina Grande, valterlin@yahoo.com.br.

## INTRODUÇÃO

Uma das primeiras iniciativas para combater a escassez de água nas regiões semiáridas dos Estados do Nordeste foi a construção de açudes, alternativa que cresceu paulatinamente. Inicialmente a serventia dos açudes era apenas para abastecimento e dessedentação de animais, mas, posteriormente, com a construção de grandes barragens, o seu uso passou a ser mais diversificado.

Atualmente a gestão da maioria dos açudes do nordeste importa numa operação que mantenham o maior volume armazenado possível, priorizando o abastecimento e limitando os demais usos, atitude normalmente justificada pelas incertezas climáticas. Entretanto, essa medida aumenta as perdas por evaporação e vertimento, conseqüentemente aumentando os conflitos com maior intensidade nas épocas de estiagem (ARAGÃO, 2008). Como uma das soluções para os problemas hídricos do Nordeste, o Governo Federal iniciou o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) com vistas a gerar uma oferta hídrica contínua, garantindo um maior desenvolvimento da região.

Este estudo, portanto, objetiva analisar o uso da água transposta a partir da proposta de uso da água exógena do Eixo Leste do PISF para a Bacia do Rio Paraíba elaborada pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) para os reservatórios receptores da água exógena, inseridos na bacia hidrográfica do rio Paraíba, a partir de diferentes cenários operacionais, através de um modelo de otimização multiobjetivo baseado em programação linear.

## PROPOSTAS DA AESA PARA USO DA ÁGUA NA BACIA DO RIO PARAÍBA APÓS A INTEGRAÇÃO DO EIXO LESTE DO PISF

A primeira proposta ou proposta base foi elaborada pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e a segunda proposta é uma modificação da primeira. Na proposta base foram consideradas as demandas hídricas atuais e futuras na área deste estudo, que contempla o abastecimento urbano de 101 municípios através de adutoras nos reservatórios e captação direta no leito do rio; irrigação de uma área de 1376 hectares – sendo 1020 hectares localizados nas margens do reservatório Epitácio Pessoa e 356 hectares localizados no perímetro irrigado próximo ao reservatório Poções – e a perenização do rio Monteiro, a jusante do reservatório Poções, e do rio Paraíba, que continuará perenizado a jusante do reservatório de Acauã.

O abastecimento urbano das 101 cidades é realizado através dos sistemas adutoras projetadas pela AESA e outras já construídas pelo Estado. São elas: o Eixo Principal que deriva três outros eixos (Eixo Serra de Teixeira, Eixo Seridó, e Eixo do Brejo) em pontos diferentes de seu traçado, partindo das proximidades do açude de Poções; das adutoras Boqueirão e Cariri, construídas, e que partem no reservatório Epitácio Pessoa; das adutoras Acauã – ramal norte, Acauã – ramal leste e Acauã – ramal oeste no reservatório Argemiro de Figueiredo; e também, considerada neste estudo, a adutora projetada do reservatório de Camalaú.

Uma descrição dos Eixos propostos pela AESA encontra-se nos Termos de Referência (TDR) para Contratação de Consultoria para a elaboração de Estudos Técnicos Preliminares, de Viabilidade e Projeto Básico para a Integração do Eixo Leste do Projeto São Francisco com Bacias do Estado da Paraíba (PARAÍBA (Estado), 2007), podendo ser resumidamente descritos da seguinte maneira:

**Eixo Principal:** partirá da Central de Tratamento de Água (ETA central), a ser localizada nas proximidades do açude Poções (entrada do Eixo Leste do Projeto de Integração do São Francisco), no município de Monteiro, alcançando a BR-412 e passando pelos municípios de Sumé Serra Branca, São João do cariri, Boa Vista e São José da Mata. Margeando a PB- 115, o eixo

passará pelas cidades de Puxinanã e Montadas, até Esperança. A partir daí, margeando a BR-104 alcançará o ponto final, na cidade de Remígio, totalizando uma extensão aproximada de 199,7 Km.

**Eixo Serra de Teixeira:** é uma derivação do Eixo Principal e partirá da BR-412, na altura da cidade de Sumé, pela PB-210, passando pelo município de São José dos Cordeiros até a cidade de Taperoá. Daí, margeando a PB-238, passará pelas cidades de Desterro, seguirá até o entroncamento desta com a BR-110 e seguirá margeando esta até o entroncamento PB-306. Continuará margeando a PB-306, passando pela cidade de Maturéia até alcançar a cidade de Imaculada. A extensão aproximada deste eixo será de 148,1 Km.

**Eixo Seridó:** partirá do município de Remígio, margeando a BR-104, passando pela cidade de Barra de Santa Rosa, até o entroncamento desta com a PB137. Daí, seguirá margeando a PB-137, até a cidade de Picuí, com extensão aproximada de 86,2 Km.

**Eixo do Brejo:** partirá da cidade de Remígio, margeando a PB-105, passando pela cidade de Arara, de onde seguirá margeando a PB-085, até a cidade de Serraria, com uma extensão aproximada de 32 Km.

O PISF contemplará a Região do Baixo Curso do Rio Paraíba, através do Canal de Integração Acauã-Araçagi, atualmente em fase de construção, planejado para transportar uma vazão máxima de 10 m<sup>3</sup>/s. O referido canal terá como aporte hídrico parte da vazão aduzida do Eixo Leste via reservatório Acauã e terá como objetivo suprir as demandas de abastecimento humano e o déficit hídrico das atividades produtivas da região da vertente litorâneas do Estado: irrigação, piscicultura, carcinicultura, entre outras, ampliando, assim, o contingente de pessoas beneficiadas pelo projeto.

## CENÁRIOS ESTUDADOS

Para análise do sistema em estudo, levou-se em consideração o incremento da vazão exógena do projeto de integração do rio São Francisco com a bacia do rio Paraíba, através do eixo Leste. Foram propostos dois cenários baseados no Termo de Referência proposto pela AESA. Nos cenários foi otimizado todo o sistema que contempla a transposição do PISF para a bacia do rio Paraíba, juntamente com a proposta da AESA.

Foram considerados para a operação do sistema, os seguintes objetivos:

- minimização do déficit do atendimento das demandas de abastecimento urbano através das adutoras;
- minimização do déficit do atendimento do volume meta dos reservatórios;
- minimização do déficit do atendimento da vazão defluente mínima do reservatório Acauã;
- maximização da receita líquida oriunda da agricultura irrigada no perímetro irrigado;
- maximização da mão de obra oriunda da agricultura irrigada no perímetro irrigado;

### Cenário I

Neste cenário é considerado o sistema proposto pela AESA para o transporte da água exógena proveniente do Rio São Francisco via eixo leste do projeto com vazão fixada em 4,2 m<sup>3</sup>/s, parte dessa água será transportada através de adutoras e o restante pelo leito natural do Rio Paraíba. Nesse sistema (Figura 1), a água chegará ao reservatório Poções na cidade de Monteiro e uma parte será aduzida através da adutora principal com vazão de 2,0 m<sup>3</sup>/s, distribuindo-se nos Eixos da Serra de Teixeira, Brejo e Seridó. Esses eixos, além de realizar uma nova distribuição de água, irá fazer reforço a algumas adutoras existentes.

Será analisado o comportamento do sistema através da otimização dos recursos hídricos com todas as demandas existentes, tendo como ordem de prioridade o atendimento do abastecimento

urbano, a maximização da receita líquida e da mão de obra oriunda da agricultura irrigada, o atendimento do canal de integração Acauã-Araçagi, e por fim, o volume meta dos reservatórios.

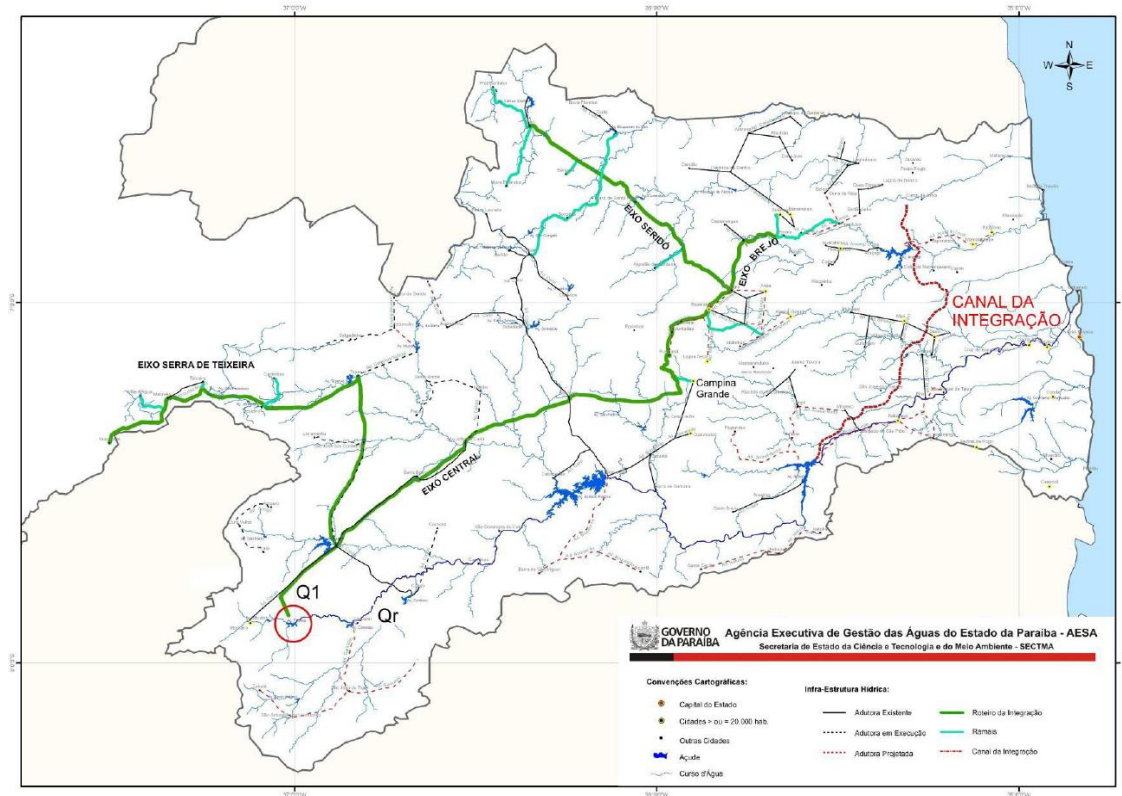


Figura 1 - Traçado da adutora para o cenário 1 (AES A apud Faria, 2009)

## Cenário II

Esse cenário apresenta a mesma proposta do cenário I, ocorrendo mudança nas prioridades de atendimento das demandas, onde temos que o atendimento da vazão estipulada para o Canal de Integração Acauã-Araçagi terá maior prioridade que a maximização da receita líquida e da mão de obra oriunda da agricultura irrigada nos perímetros irrigados estudados.

## MODELO DE OTIMIZAÇÃO QUANTITATIVO

O modelo de otimização multiobjetivo utilizado neste estudo foi desenvolvido por Santos et al. (2011), membro da equipe de pesquisadores do Grupo de Otimização Total de Água (GOTA), grupo que desenvolveu diversos modelos de otimização multiobjetivo, podemos destacar o modelo CISDERGO (CURI; CURI, 2001a) e ORNAP (CURI; CURI, 2001). O modelo é baseado em programação linear, utilizando o Toolbox Optimization do software MATLAB 6.5 com o Método do Ponto Interior para a busca da solução ótima. Para tanto, linearizações apropriadas das não linearidades intrínsecas aos processos de cada um de seus componentes tiveram que ser pesquisadas e implementadas através do uso combinado do Artífício de Linearização por Segmentos e da Programação Linear Sequencial.

Como se trata de uma otimização multiobjetivo, utilizou-se o Método das Ponderações, na qual cada função objetivo é normalizada sendo atribuídos pesos para definir as prioridades de atendimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Cenário I

As demandas de abastecimento urbano das adutoras foram atendidas plenamente ao longo dos 10 anos de operação.

A demanda estimada do Canal de Integração Acauã-Araçagi, ilustrada na Figura 2, mostra que o atendimento da vazão máxima, 10 m<sup>3</sup>/s, do canal só foi possível em cinco meses dos dois primeiros anos. Sendo que em alguns meses o déficit é de 100% do valor estipulado.

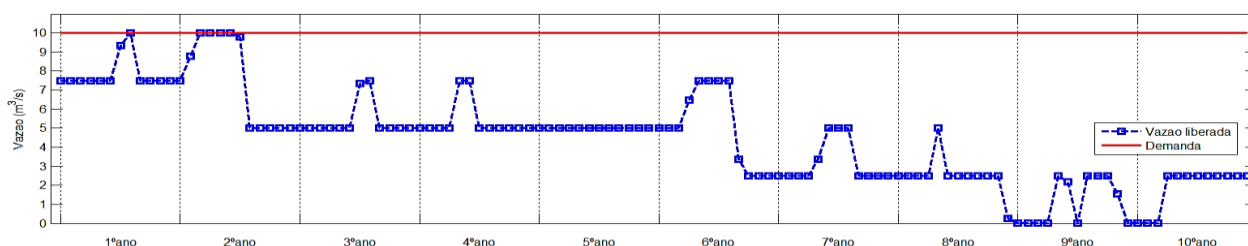


Figura 2 – Atendimento ao canal de Integração Acauã-Araçagi no cenário 1

Na Tabela 1, encontram-se os valores médios anuais das áreas cultivadas de cada cultura agrícola da safra (s), entressafra (es) e perene, além de suas respectivas receitas líquidas, mão de obra e consumo hídrico para as áreas irrigadas no cenário 1.

Tabela 1 – Valores médios anuais da área cultivada do açude Poções e Boqueirão, receita líquida auferida, mão de obra e vazão requerida de cada cultura agrícola cultivada na área irrigada para o cenário 1

Reservatórios	POÇÕES				BOQUEIRÃO			
	Área (ha/mês)	Receita Líquida (R\$/ano)	Mão de obra (diárias/ano)	Vazão (m³/ha/ano)	Área (ha/mês)	Receita Líquida (R\$/ano)	Mão de obra (diárias/ano)	Vazão (m³/ha/ano)
Tomate (s)	50	2.696.697,10	11850	277,6	150	7.070.362,93	35550	617,6
Pimentão (s)	50	422.162,55	6650	155,9	150	1.019.302,92	19950	312,5
Feijão (s)	50	243.548,96	2250	627,3	0	0,00	0	0,0
Repolho (s)	-	-	-	-	100	1.028.882,67	10700	261,5
Alface (s)	-	-	-	-	50	439.206,88	8800	239,5
Cebola (s)	-	-	-	-	100	1.005.042,56	11900	129,8
Milho (s)	50	65.021,76	2750	228,9	-	-	-	-
Tomate (es)	50	1.886.740,45	8295	944,9	150	10.083.211,18	35550	1053,1
Pimentão (es)	50	626.027,92	6650	975,9	150	1.716.728,98	19950	697,5
Feijão (es)	50	5.545.306,06	2250	2737,9	0	0,00	0	0,0
Repolho (es)	-	-	-	-	100	1.549.462,40	10700	476,7
Alface (es)	-	-	-	-	50	706.798,24	8800	501,1
Cebola (es)	-	-	-	-	100	1.560.280,53	11900	285,3
Milho (es)	50	398.972,22	2750	1065,9	-	-	-	-
Banana	0	0,00	0	0,0	470	13.673.841,47	75200	1361,1
Coco	0	0,00	0	0,0	0	0,00	0	0,0
Mamão	-	-	-	-	0	0,00	0	0,0
Limão	-	-	-	-	0	0,00	0	0,0
Goiaba	-	-	-	-	0	0,00	0	0,0

As maiores áreas irrigadas foram para as culturas sazonais no entorno dos dois açudes, sendo a área máxima plantada por mês para essas culturas de 200 ha no entorno do açude Poções e 550 ha no entorno de Boqueirão. Quanto ao consumo total de água para as demandas de abastecimento e irrigação do sistema estudado, as áreas irrigadas de Poções e Boqueirão consumiram aproximadamente 10,15% de toda a água, sendo dessa parcela 89,3% para a área irrigada de Boqueirão e 10,7% para área irrigada de Poções. As culturas sazonais são responsáveis por toda receita oriunda de toda atividade agrícola no perímetro do açude Poções. Já no perímetro próximo ao reservatório Boqueirão 65,7% a receita líquida é oriunda das culturas sazonais e perenes. Observa-se que não foi possível o plantio de culturas perenes na área irrigada próximo ao reservatório Poções, pois, em outras simulações realizadas, as mesmas geraram prejuízo.

## Cenário II

Neste cenário temos que a prioridade de atendimento da vazão do canal de integração é maior do que a maximização da receita líquida e da mão de obra oriunda da agricultura irrigada.

Do mesmo modo do cenário I, as demandas de abastecimento urbano das adutoras foram atendidas plenamente ao longo dos 10 anos de operação.

Observa-se uma pequena diferença no atendimento ao canal de integração Acauã-Araçagi (Figura 3) quando relacionado ao cenário anterior, onde seu volume médio aumenta em apenas 0,15 m<sup>3</sup>/s. Mas, essa mudança não representou desempenho satisfatório na vazão do canal, isso mostra que não existe sustentabilidade na vazão exigida pelo canal de integração, chegando apenas a atingir seu volume máximo em 8 meses durante os 10 anos de estudo e tendo uma redução no volume ao decorrer do período, com déficit máximo de 85%.

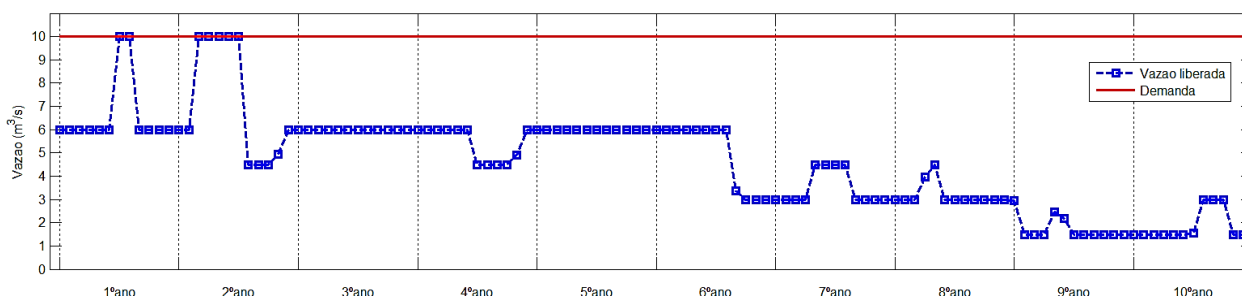


Figura 3 – Atendimento do canal de integração Acauã-Araçagi no cenário 2

Como a prioridade à vazão do canal de integração Acauã-Araçagi é maior que a demanda para irrigação, não foi possível alocar água para essa atividade. Portanto, os perímetros irrigados neste cenário são inativos.

## CONCLUSÕES

O sistema estudado que receberá a água da PISF não apresentou falhas no atendimento das demandas de abastecimento urbano, pois sempre teve maior prioridade em todos os cenários analisados.

A atividade agrícola pode ser desenvolvida nos reservatórios Poções e Boqueirão sem comprometer a demanda de abastecimento urbano das cidades nos dois cenários estudados, podendo ainda haver expansão da área agrícola nos dois perímetros irrigados. Contudo, não foi possível realizar plantio das culturas perenes banana e coco na área irrigada do açude Poções, pois

as mesmas não são lucrativas, sendo assim, a utilização das áreas destinadas ao plantio de culturas perenes podem ser dedicadas ao plantio de culturas sazonais.

Em todos os cenários estudados, a demanda do canal Acauã-Araçagi não apresentou sustentabilidade, pois a vazão máxima exigida ( $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) é alcançada apenas nos dois primeiros anos após a chegada da água exógena do PISF. Durante os 10 anos estudados, o volume de água demandado para o canal diminuiu progressivamente, chegando a nulo. Contudo, no estudo realizado é utilizado um critério que determina que o volume final no último ano seja igual ao volume inicial do reservatório estudado, esse critério influenciou o comportamento tanto do reservatório Acauã como a vazão demandada para o canal de integração Acauã-Araçagi. Logo, podemos afirmar através desse estudo que o canal não apresenta sustentabilidade caso não haja uma operação eficaz nos reservatórios de todo o sistema de forma sincronizada, sendo possível a garantia de uma vazão constante para os reservatórios.

Portanto, é possível afirmar que o cenário 1 apresentou melhor comportamento quando analisado o desempenho de vários tipos de usos de água, integrando e analisando, simultaneamente, os diversos componentes do sistema de recursos hídricos, destacando-se principalmente o gasto com energia na adução de água. Já as demandas analisadas no sistema não tiveram diferenças significativas entre os dois cenários.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, T. G. (2008). *Transposição das águas do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo AcquaNet*. 2008, 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CURI, W. F.; CURI, R.C. (2001). ORNAP - Optimal Reservoir Network Analysis Program. In *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju. CD-ROM.

CURI, W. F e CURI, R. C. (2001a). CISDERGO – Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater Optimal Operation. In *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Aracaju. CD-ROM.

FARIAS, E. E. V. (2009). *Distribuição da Água do Projeto de Integração do Rio São Francisco no Estado da Paraíba - Eixo Leste: Análise De Perdas*. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

PARAÍBA (Estado). (2007). Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA; Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA; PROÁGUA Nacional – UEGP/PB. *Termos de Referência (TDR) para Contratação de Consultoria para a elaboração de Estudos Técnicos Preliminares, de Viabilidade e Projeto Básico para a Integração do Eixo Leste do Projeto São Francisco com Bacias do Estado da Paraíba*. João Pessoa, Jul 2007.

SANTOS, V. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; VIEIRA, A. S. (2011). 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.