

# OTIMIZAÇÃO NA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS - ESTUDO DE CASO PARA OS RESERVATÓRIOS DE ENGENHEIRO ÁVIDOS E SÃO GONÇALO - PB

José Lucas de Souza Abreu<sup>1</sup>; Mikaele Gomes Batista<sup>2</sup>; Ulisses Alencar Bezerra<sup>3</sup>; Camilo Allyson Simões de Farias<sup>4</sup>

*Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal*

*jo\_lucas.souza@hotmail.com*

*mikaele202@gmail.com*

*ulisses.alencar17@gmail.com*

*camiloallyson@yahoo.com.br*

## 1. INTRODUÇÃO

O homem, ao longo de sua história fez uso dos recursos naturais de forma desordenada e por muitas vezes não respeitando as limitações do meio ambiente. A área de recursos hídricos é um dos exemplos no uso desordenado desses recursos havendo, com o passar dos anos um aumento significativo na demanda de água devido a seus múltiplos usos (REIS, 2014).

O semiárido brasileiro é uma região que compreende 1.135 municípios distribuídos entre os estados da Região Nordeste e o estado de Minas Gerais, ocupando uma área de 980.133,079 km<sup>2</sup>, abrigando aproximadamente 12% da população do Brasil (IBGE, 2010). Possui características peculiares, com uma grande variabilidade de chuvas anuais, consequentemente diminuindo a disponibilidade hídrica na região (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2010).

Um dos principais problemas dessa região é atender a diversidade de demandas, principalmente em épocas de escassez hídrica ao longo do ano. Esse é um tipo de problema que além de gerar conflitos, limita o desenvolvimento econômico e social da mesma (FARIAS, 2009).

Uma solução adotada para minimizar a crise hídrica em época de secas é a construção de reservatórios, no qual a água pode ser armazenada no período de chuva e usada posteriormente (FARIAS, 2004).

Os reservatórios São Gonçalo e Engenheiro Ávidos são os responsáveis pelo abastecimento de água das cidades de Cajazeiras, Sousa, Marizópolis, Nazarezinho e dos distritos de Engenheiros Ávidos e São Gonçalo, além de suprir as demandas hídricas do Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG). De acordo com o IBGE (2010), a população total correspondente a esses municípios é de 107.249 habitantes.

O Engenheiro Ávido possui capacidade total de 30.319.356 m<sup>3</sup>, atualmente apresenta um volume de água de 14.652.370 m<sup>3</sup> o que corresponde a 5,8% de sua capacidade total. Já o Reservatório São Gonçalo possui capacidade total de 44.600.000 m<sup>3</sup>, volume atual de 15.790.080, o que representa 35,4% de sua capacidade total (AESAs, 2016).

Sabemos que a região do Nordeste vem sendo afetada por uma época de seca que já se estende há alguns anos e, para tentar resolver esse déficit de água será feita a transposição do rio São Francisco, gerando uma oferta hídrica exógena e assim diminuindo a escassez de água na região. Entretanto, é necessário haver o planejamento e a gestão dos recursos hídricos estando atrelados à escolha da melhor alternativa para solucionar os problemas de operação dos sistemas hídricos. A otimização é uma metodologia que possibilita obter a melhor solução que garanta o nível mínimo de água para o consumo humano e animal, além de suprir as necessidades das atividades relacionadas aos aspectos econômicos e ao desenvolvimento da região.

O desenvolvimento de metodologias relacionadas à programação linear possibilita a aplicação de modelos de análise de sistemas de reservatórios. Muitos problemas de otimização podem ser modelados como sendo um problema de redes de fluxo. As redes de fluxo consistem em um gráfico onde são mostradas arestas com capacidade de fluxo associada a si, considerando que o fluxo que passa em cada aresta não pode ultrapassar sua capacidade além de satisfazer a restrição de conservação do fluxo, ou seja, deve-se respeitar o balanço de fluxo em cada aresta. Esta restrição é válida com exceção do nó fonte de onde sai o fluxo e do nó sorvedouro onde apenas à entrada de fluxo.

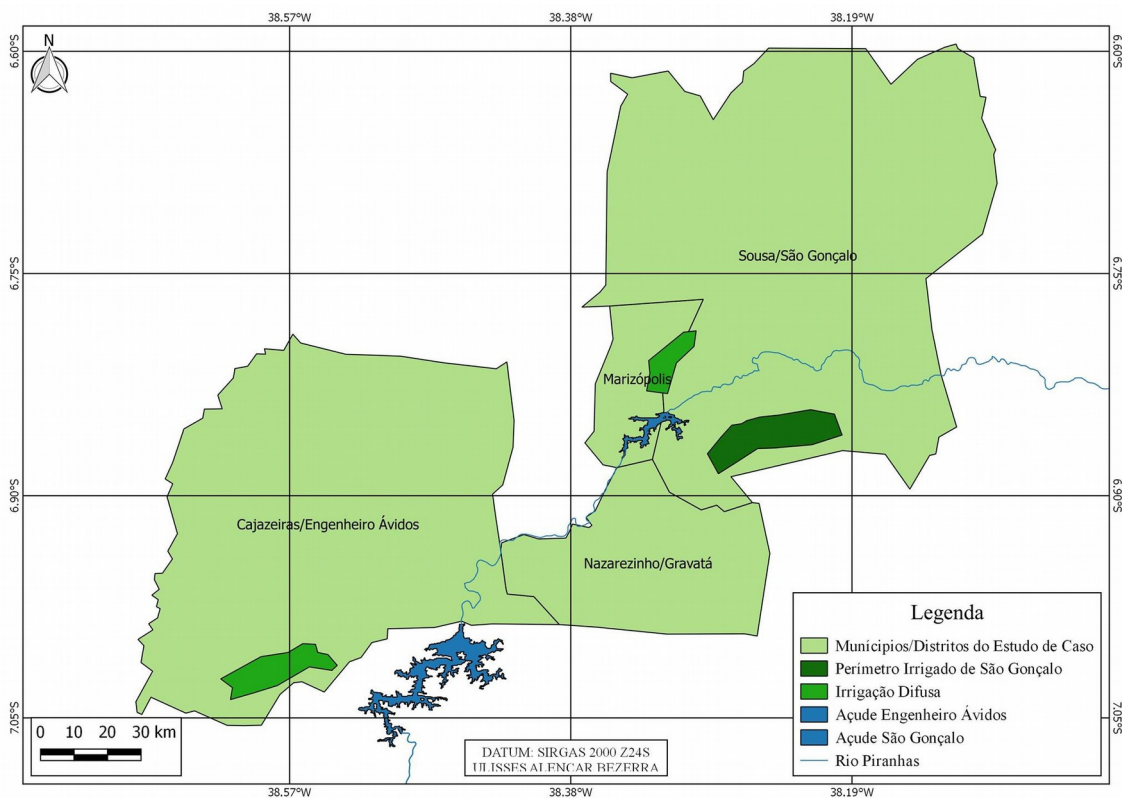
Sendo assim, objetiva-se avaliar a operação conjunta dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo quanto ao atendimento das demandas de seus múltiplos usos nas cidades dependentes, considerando também, o incremento da vazão oriunda da transposição do rio São Francisco.

## 2. METODOLOGIA

Os procedimentos de cálculo de otimização para análise da alocação de água para as diferentes atividades que cercam o sistema estão descritos a seguir, considerando-se também o incremento da vazão exógena do Projeto de Integração do rio São Francisco com a bacia do rio Piranhas, por meio do Eixo Norte, em um dos cenários propostos.

### 2.1 Área de Estudo

A área em questão consiste nos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, situados na Região do Alto Curso do Rio Piranhas, no sudoeste do estado da Paraíba, entre as latitudes 6°50' e 7°25' Sul e entre as longitudes 38°10' e 38°40' Oeste, totalizando uma área de 1.219 km<sup>2</sup>. Na Figura 1 encontra-se a localização da Região do Alto Curso do Rio Piranhas, dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo e os municípios envolvidos na problematização.



**Figura 01:** Área abrangida pelo estudo no alto curso do Rio Piranhas

(83) 3322.3222

contato@conidis.com.br

[www.conidis.com.br](http://www.conidis.com.br)

A barragem de Engenheiro Ávidos está localizado no município de Cajazeiras, estado da Paraíba, e tem por finalidade o abastecimento público das cidades de Cajazeiras e Nazarezinho; dos distritos Engenheiro Ávidos e Gravatá; e ainda a regularização da vazão do rio Piranhas.

O reservatório de São Gonçalo está localizado no município de Sousa. Este tem por finalidade o abastecimento das cidades de Sousa e Marizópolis; o distrito de São Gonçalo; e é também incumbido pelo suprimento das demandas hídricas do Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG).

## 2.2 Propostas para Operação do Sistema

Para o desenvolvimento deste estudo, foram preconcebidos e propostos os seguintes cenários operacionais:

**Cenário 1:** Operação conjunta do sistema com permissão de transferência de água entre os reservatórios (operação atual).

**Cenário 2:** Operação conjunta do sistema considerando o incremento da vazão exógena no reservatório Engenheiro Ávidos advinda da transposição do Rio São Francisco.

**Cenário 3:** Operação conjunta do sistema com permissão de transferência de água entre os reservatórios (operação atual), considerando o incremento de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) no sistema.

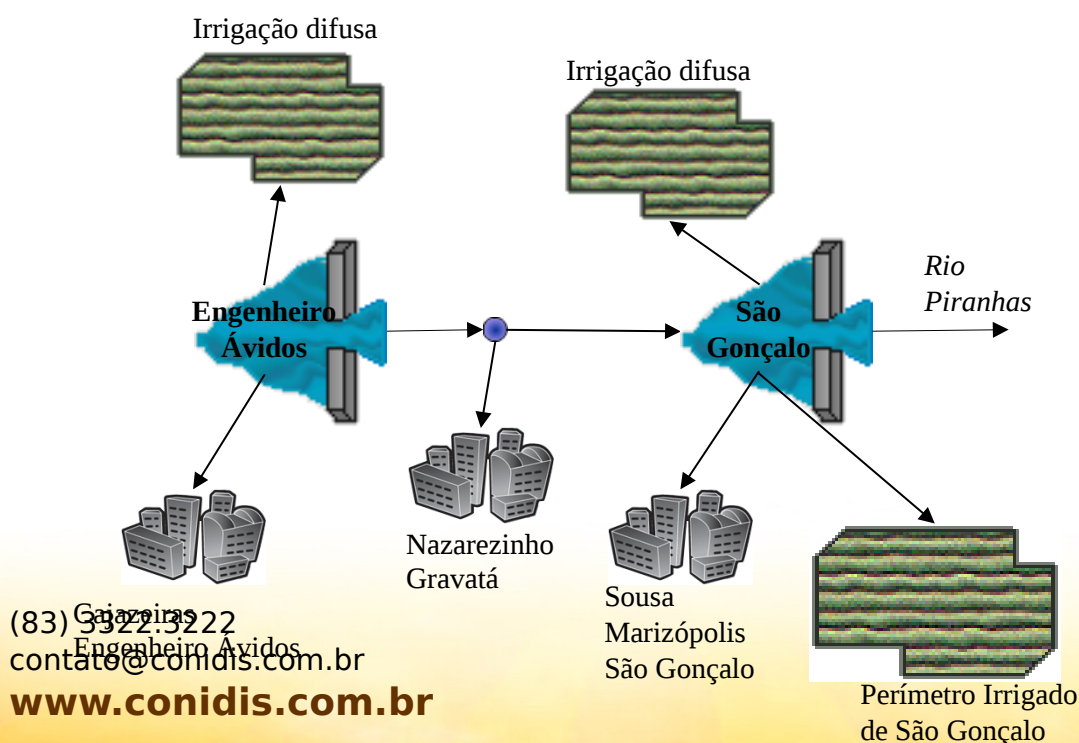
**Cenário 4:** Operação conjunta do sistema considerando o incremento da vazão exógena no reservatório Engenheiro Ávidos advinda da transposição do Rio São Francisco e de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) no sistema.

Para a otimização dos cenários propostos utilizou-se a versão teste do software LINGO 16.0. Este modelo foi utilizado para verificar se os reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo atendem ou não as suas demandas aplicando-se as equações da função objetivo, do balanço dos nós e dos limites de acordo com cada cenário.

## 2.3 Dados do Sistema

### 2.3.1 Demandas Hídricas

A Figura 2 apresenta um layout do sistema estudado com as demandas relevantes a serem providas pelos reservatórios de Engenheiro Ávidos e São Gonçalo.





A outorga emitida pela ANA para a captação de água no Reservatório de São Gonçalo é de cerca 13,8 mil m<sup>3</sup>/dia, ou seja, 0,16 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2013), logo este foi o valor considerado para o abastecimento urbano de Sousa, Marizópolis e São Gonçalo.

Recentemente, a ANA em estudo de estado de fonte adaptada de Engenheiro Ávidos é captado para o abastecimento dos municípios de Cajazeiras e o distrito de Engenheiro Ávidos o valor de 0,1748 m<sup>3</sup>/s ou 174 L/s. Os técnicos da ANA sugeriram reduzir gradualmente a vazão de abastecimento das referidas localidades de 174 L/s (vazão medida pela ANA) de forma a adequá-la à vazão de 130 L/s, que foi a outorgada pelo órgão, sendo esse último valor o considerado neste estudo.

Os abastecimentos do município de Nazarezinho e do distrito de Gravatá atualmente são captados no leito do rio Piranhas. A vazão aduzida medida pela ANA para essas duas localidades, é de 6 L/s para cada uma, totalizando 12 L/s.

Segundo informações dos técnicos do Departamento Nacional de Obras Contra Seca (DNOCS), a demanda para irrigação difusa no entorno do reservatório Engenheiro Ávidos foi considerada como sendo igual a 0,1 m<sup>3</sup>/s. Para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo e a irrigação difusa no entorno do reservatório São Gonçalo, adotou-se o valor de 1,43670 m<sup>3</sup>/s, estes valores foram obtidos das propostas dos técnicos da ANA em estudo recentemente realizado no Perímetro Irrigado (ANA, 2013).

### 2.3.2 Dados dos reservatórios e critérios operacionais

O Reservatório de Engenheiro Ávidos, como apresentado anteriormente, possui capacidade máxima de 255.000.000 m<sup>3</sup> e um volume mínimo de 27.970.000 m<sup>3</sup>. O volume inicial utilizado foi de 88.280.000 m<sup>3</sup>, que corresponde à média do volume inicial do mês de janeiro dos últimos 19 anos. Já o volume máximo do reservatório de São Gonçalo é de 44.600.000 m<sup>3</sup> e o volume mínimo é de 2.980.000 m<sup>3</sup>. O volume inicial, também calculado da mesma forma, foi de 18.440.000 m<sup>3</sup>.

Os critérios operacionais adotados para os dois reservatórios devem observar as seguintes conjecturas:

- ✓ Foram desconsideradas as perdas de água nos trechos do rio e a depuração dos esgotos;
- ✓ As prioridades de atendimento das demandas foram estabelecidas de acordo com a Lei nº 9433/97: primeiro – abastecimento humano dos núcleos urbanos e difuso no entorno dos reservatórios; segundo – agricultura irrigada;
- ✓ Segundo informações da AESA(2013) a vazão firme advinda da Transposição do rio São Francisco para o reservatório Engenheiro Ávidos é de 1 m<sup>3</sup>/s.

Considerando a evaporação e precipitação média sobre a superfície do lago dos reservatórios e a demanda como livre, de forma a fornecer o maior valor possível de regularização, o Reservatório de Eng. Ávidos, a vazão máxima regularizável encontrada foi de 2,1447 m<sup>3</sup>/s com a transposição de 1 m<sup>3</sup>/s; e de 1,1447 m<sup>3</sup>/s sem a transposição. Já em São Gonçalo, considerando a vazão incremental (sem a vazão que vem de Eng. Ávidos), o valor máximo regularizável foi de 0,3996 m<sup>3</sup>/s.

O modelo que utilizado determinar tais as vazões regularizáveis, através da simulação mensal dos reservatórios foi do tipo determinístico, considerando os volumes iniciais como iguais ao valor correspondente a 50% do volume máximo dos reservatórios. Foram utilizados os dados de vazão de 1933 a 1989 anos para tal simulação, totalizando 57 anos de dados.

## RESULTADOS

Para compreensão dos resultados aqui apresentados a legenda adotada para cada parte que compõe os cenários está apresentada no Quadro 01 a seguir:

**Quadro 01:** Legenda da rede de fluxo proposta

<b>Demandas</b>	<b>Identificação</b>
<b>Cidade 1</b>	Cajazeiras
<b>Cidade 2</b>	Nazarezinho/Gravata
<b>Cidade 3</b>	Sousa/São Gonçalo/Marizópolis
<b>Irrigação 1</b>	Irrigação difusa no entorno do reservatório Engenheiro Ávidos
<b>Irrigação 2</b>	Irrigação difusa no entorno do reservatório São Gonçalo
<b>PISG</b>	Perímetro Irrigado de Sousa
<b>ETE 1</b>	Estação de Tratamento de Esgoto da Cidade de Cajazeiras
<b>ETE 2</b>	Estação de Tratamento de Esgoto da Cidade do complexo Nazarezinho/Gravata
<b>ETE 3</b>	Estação de Tratamento de Esgoto da Cidade do complexo Sousa/São Gonçalo/Marizópolis

Com a construção das redes de fluxos de acordo com cada cenário proposto, das funções objetivos, das equações de balanço e dos limites, os quais foram inseridos no LINGO 16.0 os resultados gerados foram os seguintes:

Cenário 1: Atende a Cidade 1 parcialmente; não atende completamente a Irrigação 1; atende completamente a Cidade 2; não atende a demanda da Cidade 3; a Irrigação 2 e PISG são atendidas.

Cenário 2: Aumenta a vazão da Cidade 1 mas ainda não atende a sua demanda; a Irrigação 1 é atendida; a Cidade 2 é atendida; não manda a demanda necessária para a Cidade 3, por fim atende a Irrigação 2 e PISG.

Cenário 3: Atende a demanda da Cidade 1; não atende a Irrigação 1; atende a Cidade 2; atende a Cidade 3; e parcialmente a Irrigação 2 e o PISG; a eficiência da ETE 1 é de 57,33%, da ETE 2 foi de 0% e da ETE 3 é de 83%.

Cenário 4: Atende todas as demandas das Cidades e Irrigação; porém a eficiência da ETE 1 cai para 27,75%, da ETE 2 permanece em 0% e da ETE 3 cai para 61,89%.

## CONCLUSÕES

Observa-se que os resultados obtidos nos cenários analisados e levando-se em consideração o atendimento das demandas do sistema, pode-se apontar que os cenários 3 e 4 apresentam melhores resultados, logo o diferencial ETE provocou alterações substanciais no sistema, assim como a vazão

de 1 m<sup>3</sup>/s advinda da transposição do rio São Francisco, que aumenta as vazões de saída para alocação e chega a cobrir 100% das demandas prioritárias e para irrigação no cenário 4.

Como observado à idealização de cenários traz a possibilidade de construção de alternativas ótimas, para que se possa atender aos múltiplos usuários da água. Portanto torna-se imprescindível a busca de formas integradas de planejamento e gestão dos recursos hídricos, para promover o equilíbrio entre a qualidade ambiental e as atividades humanas dentro de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. 2014. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaUltimosVolumesPorMunicipio>>. Acesso em: 17 set. 2016.

ANA - Agência Nacional de Águas. Boletim de Acompanhamento dos Reservatórios do Nordeste do Brasil. Brasília. Vol, nº 15,p. 1-21, ago. 2016a.

ANA - Agência Nacional de Águas. Relatório da Campanha de Medição de Vazão e Cadastramento de Usuários de Recursos Hídricos nos Reservatórios de Eng. Ávidos e São Gonçalo. Relatório Nº 16/2013/GEFIU/SFI-ANA. Documento: 00000.020545/2013-65. Bacia do rio Piranhas Açú. 2013.

Blog do Kunigami, doses semanais de computação em matemática. **Modelos de Programação Linear: Fluxo em Redes**. Disponível em: <<https://kuniga.wordpress.com/2010/08/06/modelos-de-programacao-linear-fluxo-em-redes/>>. Acesso em: 20 set. 2016.

CBH PPA - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açú. TERMO DE PRÉ-ALOCAÇÃO DE ÁGUA. José Procópio de Lucena: Presidente do CBH PPA. Sousa - PB, 14 de abril de 2016.

CIRILO, J. A; MONTENEGRO, S.M.G.L.; CAMPOS, J. N. B. **A Questão da Água no Semiárido Brasileiro**. BICUDO, C.E. de M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (Org.). In: Águas do Brasil, Análises Estratégicas. 1 ed.São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, v. 1. p. 81-91.

FARIAS, E.E.V. de. **Distribuição da água do projeto de integração do rio São Francisco no Estado da Paraíba – eixo leste: análise de perdas**. 2009. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

FARIAS, S. R. A. **Operação Integrada dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo**. 2004. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?> > Acesso em: 20 set. 2016.

REIS, C. Q. **Avaliação da Sustentabilidade Hídrica dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo - Pb**. 2014. 72 f. Dissertação (Ciência e Tecnologia em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2014.