



## XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **ANÁLISE DO ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS DOS RESERVATÓRIOS ENGENHEIRO ÁVIDOS E SÃO GONÇALO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

*Valterlin da Silva Santos*<sup>1</sup>; *Camilo Allyson Simões de Farias*<sup>2</sup> & *Cristiane Queiroz Reis*<sup>3</sup>

**RESUMO** – Este trabalho tem como objetivos analisar o atendimento às múltiplas demandas hídricas do sistema de reservatórios composto pelos açudes Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, ambos localizados no semiárido paraibano. Os principais usos destes reservatórios são atendimentos às demandas de duas importantes cidades paraibanas, Sousa e Cajazeiras, e do Perímetro Irrigado de São Gonçalo. A metodologia consistiu na simulação mensal da operação do sistema hídrico por meio do Sistema de Suporte de Decisão ACQUANET considerando 57 anos de dados hidrológicos (1933-1989). O desempenho da operação do sistema hídrico foi avaliado com base nos indicadores propostos por Hashimoto *et al.* (1982). De acordo com os resultados, apesar da garantia de atendimento às demandas ser superior a 90%, caso ocorra uma falha, o tempo necessário para que as demandas sejam novamente atendidas é de 5 a 6 meses, sendo a magnitude dessas falhas da ordem de 90% a 100% das demandas previstas. Considerando esses indicadores, conclui-se que se tem um atendimento confiável às demandas existentes pelos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo; entretanto, quando falhas de atendimento ocorrem, essas são de alta vulnerabilidade e de recuperação lenta.

**ABSTRACT** – The main objective of this paper is to analyze the meeting of multiple water demands of the reservoir system composed by Engenheiro Ávidos and São Gonçalo dams, both located in a semiarid land of Paraíba State, Brazil. The main uses of these reservoirs are meeting water demands of two major cities of Paraíba State, Sousa and Cajazeiras, and the Irrigated Perimeter of São Gonçalo. The methodology consisted of the monthly simulation of the system operation by means of the Decision Support System ACQUANET. For this, 57 years of hydrological data (1933-1989) were considered. The performance of the water system operation was evaluated with basis on indicators proposed by Hashimoto *et al.* (1982). According to the results, despite the more than 90% reliability for meeting water demands, if a failure occurs, the necessary period for demands to be met

1) Professor Adjunto da UACC/CCJS/UFCG. Rua Sifrônio Nazaré 38. Sousa – PB, CEP 58.800-340. E-mail: valterlin@yahoo.com.br

2) Professor Adjunto da UACTA/CCTA/UFCG. Rua Jario Vieira Feitosa, 1770. Pombal - PB, CEP 58840-000. E-mail: camiloallyson@yahoo.com.br

3) Professora Assistente da UACC/CCJS/UFCG. Rua Sifrônio Nazaré 38. Sousa – PB, CEP 58.800-340. E-mail: profcristianereis@gmail.com

again is from 5 to 6 months. The magnitude of such failures ranges from 90% to 100% of the expected demands. Considering these indicators, it can be concluded that the meeting of existing water demands by Engenheiro Ávidos and São Gonçalo reservoirs is reliable; however, when failures occur, these are highly vulnerable and of low recovery.

**Palavras-Chave** – Operação de reservatórios, indicadores de desempenho, sustentabilidade.

## 1 – INTRODUÇÃO

Na região semiárida do nordeste brasileiro, o atendimento adequado às demandas de abastecimento e agricultura é bastante dificultoso, devido à ocorrência de secas periódicas e a intermitência dos escoamentos superficiais. Essa escassez hídrica em certas épocas acaba prejudicando e limitando o desenvolvimento econômico e social da região além de ser uma fonte de conflitos (Farias, 2009).

Uma das soluções apresentadas para minimizar este problema foi à construção de reservatórios para armazenamento da água e seu uso posterior, à custa de elevada perda de água por evaporação (Farias, 2004).

Observa-se que construir reservatórios por si só não resolve o problema da escassez de água na região, sendo necessário a implementação de políticas operacionais do uso das águas desses reservatórios. Tais operações podem ser avaliadas pelo uso dos indicadores que auxiliam na análise do desempenho do sistema hídrico especialmente em períodos críticos de seca, além de dar melhores condições para o analista prever cenários. (Celeste, 2006).

A Região do Alto Curso do Rio Piranhas apresenta problemas de escassez hídrica decorrentes, principalmente, do uso da água para agricultura irrigada, maior consumidora de água e principal atividade econômica da região (Farias, 2004). Essa região é responsável pelo abastecimento urbano de duas importantes cidades paraibanas, Cajazeiras e Sousa, com uma população estimada em 2013 de cerca 129 mil habitantes (IBGE, 2014).

Em 1998 ocorreu um grave conflito pelo uso da água decorrente da liberação das águas do reservatório Engenheiro Ávidos para o reservatório São Gonçalo: a transferência foi proibida por determinação judicial decorrente de ação da Curadoria do Meio Ambiente da cidade de Cajazeiras, que entendeu que a transposição colocaria em risco o abastecimento da população daquela cidade. Após acordo que estabeleceu a ampliação do turno de rega para 21 dias, as comportas foram reabertas, depois de permanecerem fechadas por cerca de 30 dias (Freitas, 1999 apud Farias, 2004).

Atualmente o nordeste brasileiro está sofrendo as conseqüências da pior seca dos últimos 50 anos. Os volumes de água dos reservatórios estão abaixo de 30% da capacidade de armazenamento sendo adotado um regime de racionamento de água para a garantia do atendimento da população urbana das cidades de Sousa, Cajazeiras, Marizópolis e Nazarezinho e da irrigação no entorno dos reservatórios e do Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

Desta forma, este trabalho tem como questão problema: os reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, situados na região semiárida do estado da Paraíba, conseguem atender as suas demandas de maneira sustentável?

## 2 – ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

Os reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo estão localizados na Região do Alto Curso do Rio Piranhas, no sudoeste do estado da Paraíba, entre as latitudes 6° 50' e 7° 25' Sul e as longitudes 38° 10' e 38° 40' Oeste, conforme indicado na Figura 1.



Figura 1 – Região do Alto Curso do Rio Piranhas (Fonte: SCIENTEC, 1997).

A região apresenta aspectos climáticos, segundo a classificação de Köppen, como do tipo Bsh (semiárido quente). A partir dos dados climatológicos da região, obtidos da Estação Climatológica de São Gonçalo (SCIENTEC, 1997), observa-se indicam temperatura média anual de 26 °C, sendo as mais elevadas nos meses de outubro a janeiro. A umidade relativa do ar varia de 56 a 74%, a

insolação média é de 8,7 horas e a velocidade do vento média é de 3,0 m/s. A evaporação anual média medida em Tanque Classe A é de cerca 3056,6 mm. A média das precipitações anuais situa-se em torno de 914,4 mm, dos quais aproximadamente 66% ocorrem no trimestre mais chuvoso (fevereiro a abril).

Na Figura 2 apresenta-se o layout do sistema estudado com as principais demandas a serem supridas pelos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo.

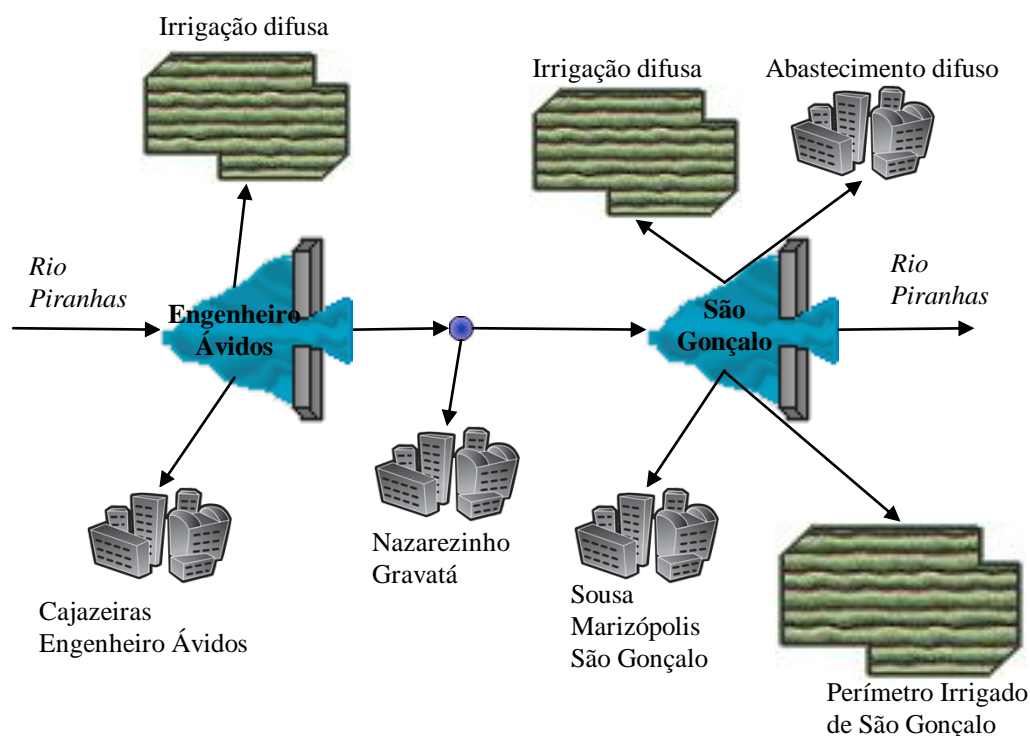


Figura 2 - Layout do sistema estudado.

A Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) está outorgada pela Agência Nacional de Águas (ANA) a captar no reservatório Engenheiro Ávidos, para o abastecimento do município de Cajazeiras e do distrito de Engenheiro Ávidos, uma vazão de 130 L/s. A vazão outorgada pela ANA para a captação no açude São Gonçalo pela CAGEPA para o abastecimentos dos municípios de Sousa e Marizópolis e do distrito de São Gonçalo é de 160 L/s. O abastecimento do município de Nazarezinho e o distrito de Gravatá é realizado no leito do rio Piranhas sendo a demanda de 12 L/s.

O abastecimento difuso no reservatório São Gonçalo diz respeito a algumas pequenas comunidades que existem próximas ao reservatório que se utilizam de sua água para consumo humano e animal. A demanda para esta finalidade foi estimada pelos técnicos da ANA em 2 L/s.

A demanda para irrigação difusa no entorno do reservatório Engenheiro Ávidos foi considerada como sendo 0,1 m<sup>3</sup>/s, segundo informações dos técnicos do DNOCS (Departamento

Nacional de Obras Contra as Secas). Para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG) e a irrigação difusa no entorno reservatório São Gonçalo, considerou-se uma demanda média mensal variável, conforme representação na Tabela 1. Esta demanda foi proposta pelos técnicos da ANA em estudo recente realizado no Perímetro Irrigado.

Tabela 1 – Demanda média mensal para o PISG e a irrigação difusa no entorno do reservatório São Gonçalo.

	Vazão média mensal (m <sup>3</sup> /s)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Irrigação. Difusa</b>	0,07	0,03	0,02	0,02	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,11	0,12	0,10
<b>PISG</b>	1,30	0,54	0,35	0,43	1,11	1,27	1,51	1,78	2,00	2,05	2,14	1,87

Os dados de vazões afluentes aos reservatórios Engenheiro Ávidos e São foram obtidos junto ao Banco de Dados da Secretaria Extraordinária de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba - SEMARH, atualmente AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). A série histórica contém os valores das vazões afluentes do período de 1933 a 1989, compreendendo, portanto, um total de 57 anos.

Os dados de evaporação foram obtidos a partir de dados observados do tanque “Classe A” da Estação Climatológica de São Gonçalo (Tabela 2). Os valores mensais do coeficiente de tanque *kt* foram estimados por Oliveira *et al.* (2005) para a região do sertão paraibano (mais precisamente na cidade de Patos).

Tabela 2 – Dados da evaporação média mensal do Tanque “Classe A” e do coeficiente *kt*

Posto Climatológico	Evaporação média mensal (mm)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>São Gonçalo<sup>1</sup></b>	300,7	213,9	195,5	170,0	183,1	176	216,4	274,8	315,1	344,7	333,9	332,5
<b><i>kt</i><sup>2</sup></b>	0,77	0,79	0,78	0,92	0,93	0,91	0,80	0,81	0,77	0,78	0,76	0,76

Fonte: <sup>1</sup>PDRH/PB (SCIENTEC, 1997) e <sup>2</sup>Oliveira *et al.* (2005)

Os dados das curvas cota-área-volume foram obtidos do Cadastro de Açude do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Piranhas e Piancó (SCIENTEC, 1997).

Na Tabela 3 estão listados os volumes máximos e mínimos dos reservatórios, bem como volumes iniciais utilizados, que correspondem à média do volume inicial do mês de janeiro dos últimos 19 anos.

Tabela 3 – Dados dos reservatórios estudados.

Reservatório	Volumes (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		
	Máximo <sup>1</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Volume inicial <sup>2</sup>
Engenheiro Ávidos	255,00	27,97	88,28
São Gonçalo	44,6	2,97	18,44

Fonte: <sup>1</sup>PDRH/PB (SCIENTEC, 1997) e <sup>2</sup>AESA(2014)

### 3 – METODOLOGIA

Para a simulação mensal da operação conjunta do sistema hídrico composto pelos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo foi utilizado o Sistema de Suporte a Decisão AcquaNet, que é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas que permite que o usuário possa montar redes com um grande número de reservatórios, com suas respectivas demandas e trechos de canais, representando o problema em estudo de forma bastante detalhada (LABSID, 2002).

Os critérios operacionais para os reservatórios observaram os seguintes pressupostos:

- O período de simulação utilizado é de 57 anos, ou seja, 684 meses.
- As prioridades de atendimento das demandas foram: primeiro – abastecimento humano dos núcleos urbanos e difuso no entorno dos reservatórios; segundo – agricultura irrigada.
- O volume meta do reservatório para todos os meses da série equivale à capacidade máxima do mesmo.
- As capacidades das tomadas d'água foram consideradas iguais as suas respectivas demandas.
- As perdas em trânsito entre os reservatórios foram consideradas de cerca de 22%, conforme recomendações de Aragão (2008).

Para avaliar o grau de atendimento das demandas foram utilizados os indicadores de desempenho: confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade, propostos por Hashimoto *et al.* (1982). Tais indicadores são bastante utilizados em análise de sistema hídricos, já que fornecem meios de avaliar os efeitos de várias regras de operação, além de auxiliar na avaliação de futuros projetos a serem implantados (Vianna Junior e Lanna, 2002).

### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 4 apresentam-se os valores dos indicadores propostos por Hashimoto *et al.* (1982) para o atendimento das demandas dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo.

Tabela 4 – Indicadores de desempenho propostos por Hashimoto *et al.* (1982).

<b>Demandas</b>	<b>Confiabilidade</b>	<b>Resiliência</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
Abast. de Cajazeiras e Engenheiro Ávidos	92,1%	16,7%	98,5%
Abast. de Nazarezinho e Gravatá	92,1%	16,7%	100,0%
Abast. de Sousa, Marizópolis e São Gonçalo	92,5%	19,6%	92,0%
Abast. Difuso no Res. São Gonçalo	92,5%	19,6%	100,0%
Irrigação Difusa Res. Engenheiro Ávidos	92,0%	16,4%	100,0%
Irrigação Difusa Res. São Gonçalo	90,9%	14,5%	98,8%
Irrigação PISG	91,1%	14,8%	89,9%

Tem-se que todas as demandas apresentam falhas no seu atendimento. Constatou-se que as falhas ocorreram no mesmo período devido ao esvaziamento dos reservatórios como apresentado nas Figuras 3 e 4. Observa-se uma grande oscilação do volume de água dos reservatórios, sendo que em alguns períodos chegam a secar completamente (volume de água abaixo do volume mínimo), não sendo possível o atendimento às demandas.

Apesar disso a confiabilidade de atendimento das demandas de abastecimento humano é maior que 92%, ou seja, a chance dessas demandas não serem atendidas é de 8%. Entretanto, tem-se que a resiliência é baixa (de 17 a 20%) com uma alta vulnerabilidade (de 92 a 100%), ou seja, caso ocorra uma falha, em média, o sistema só se recuperará depois de 5 meses sendo atendido apenas 8% da demanda prevista para os municípios de Sousa e Marizópolis e do distrito de São Gonçalo, 1,5% da demanda prevista para o município de Cajazeiras e do distrito de Engenheiro Ávidos não sendo possível o atendimento da demanda do município de Nazarezinho e do distrito de Gravatá.

Com relação das demandas de irrigação, observa-se que todas apresentam alta confiabilidade, com uma baixa resiliência e alta vulnerabilidade. Assim, ocorrendo uma falha, em média, o sistema só se recuperar depois de 6 meses sendo a atendido apenas 10% da demanda prevista para o PISG, 1,2% da demanda prevista para a irrigação difusa no reservatório São Gonçalo, e não havendo atendimento da irrigação difusa no reservatório Engenheiro Ávidos.

## **5 – CONCLUSÃO**

Neste trabalho apresentou-se um estudo das disponibilidades e usos dos recursos hídricos na Região do Alto Curso do Rio Piranhas no estado da Paraíba, mais especificamente no sistema hídrico representado pelos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo.

Com base nos resultados, observou-se que houveram falhas no atendimento de todas as demandas do sistema (abastecimento urbano, abastecimento difuso e irrigação). Apesar de o sistema apresentar alta confiabilidade, acima de 90%, esse se mostrou pouco resiliente e bastante vulnerável. Diante disso, conclui-se que há atendimento satisfatório às demandas hídricas pelo sistema hídrico em estudo na maior parte do tempo, todavia, quando falhas ocorrem, essas são de grande magnitude e de recuperação lenta.

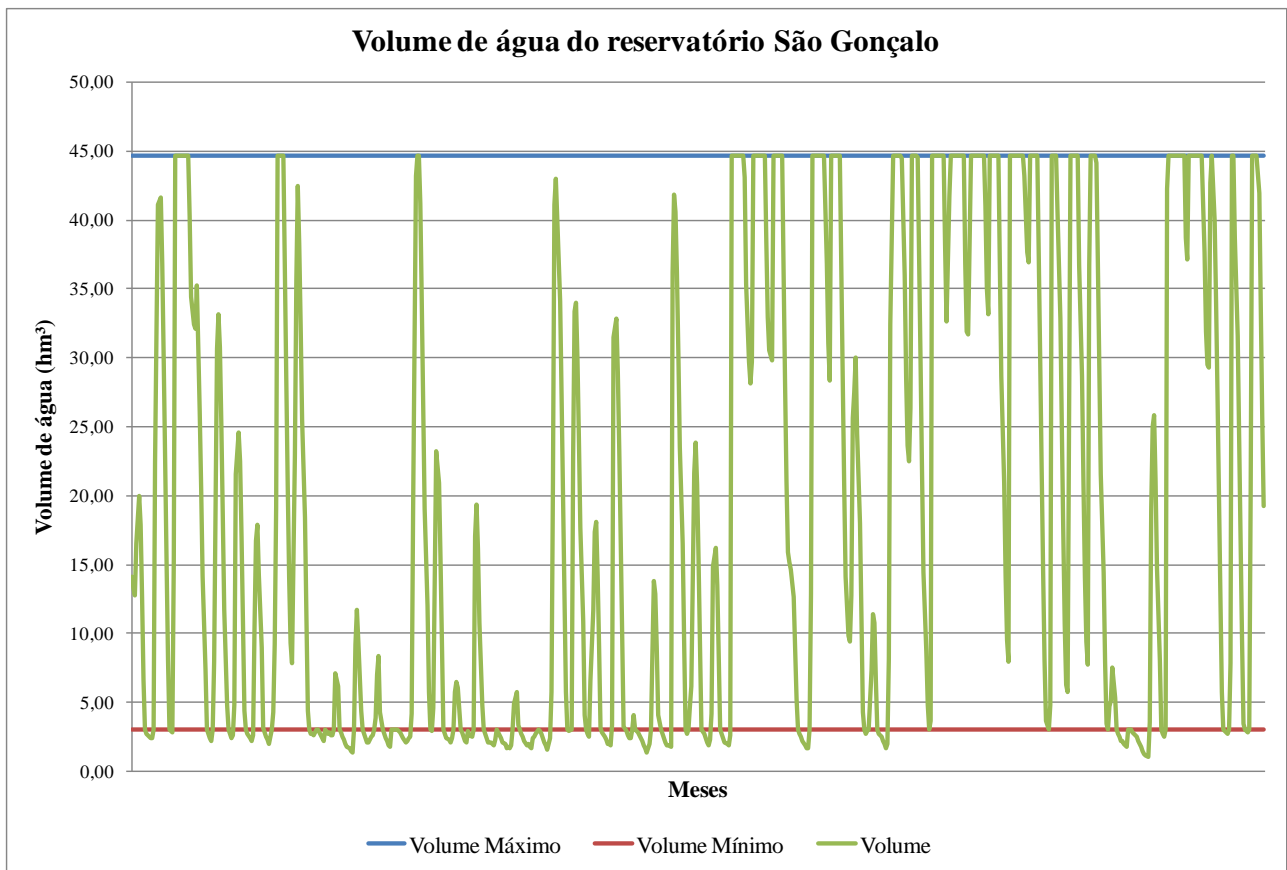


Figura 3 – Volume de água do reservatório São Gonçalo.

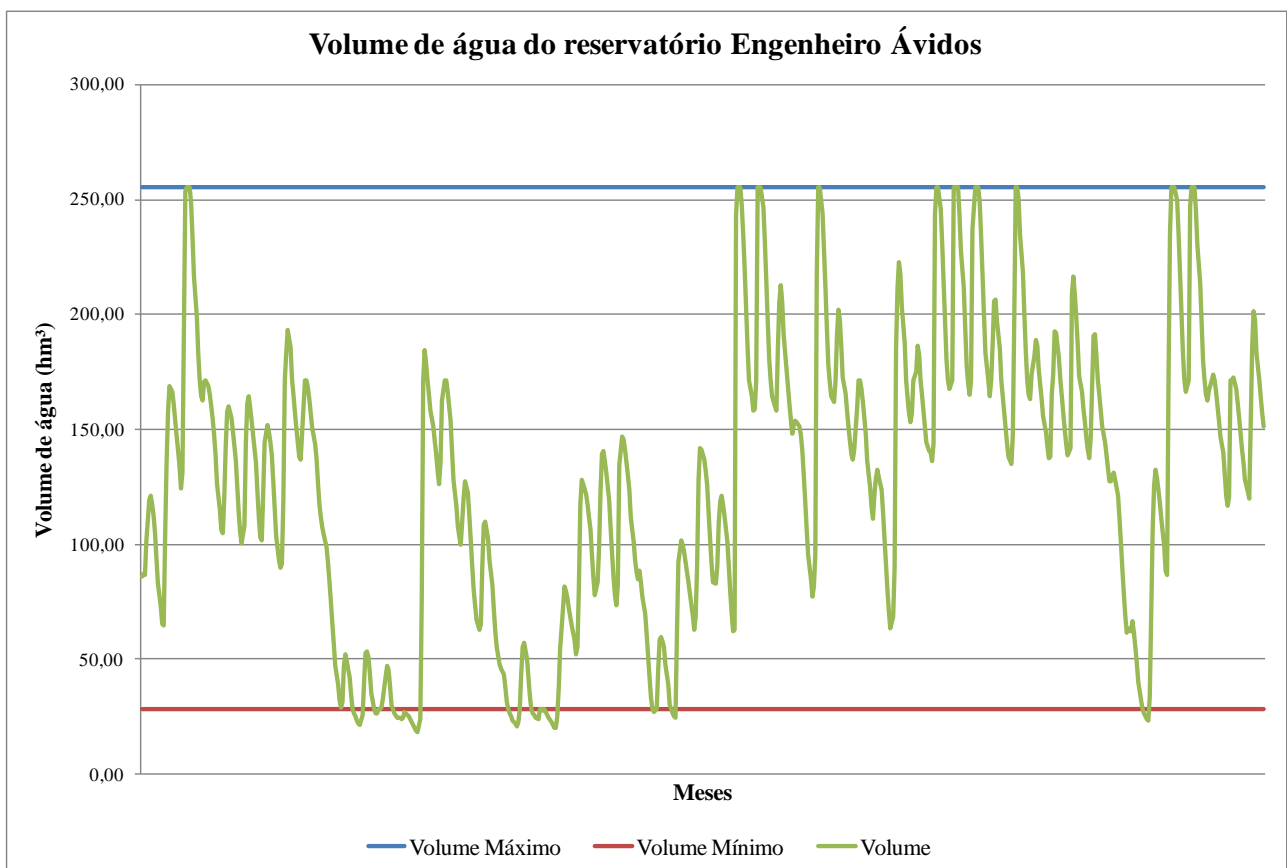


Figura 4 – Volume de água do reservatório São Gonçalo.



## BIBLIOGRAFIA

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (2014). Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaVolumesDiariosAtual>. Data da consulta: 17 de junho de 2014.
- 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*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 125 p.
- CELESTE, A. B. (2006). *Determinação e análise de indicadores de desempenho e de sustentabilidade de seis açudes na bacia do rio Piancó - PB e de suas potenciais demandas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 119 p.
- FARIAS, S. R. A. (2004). *Operação Integrada dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 140 p.
- 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*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 142 p.
- IBGE (2014). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Data da consulta: 15 de maio de 2014.
- HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R. & LOUCKS, D. P. (1982). “*Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation*”. *Water Resources Research*, (18-1), pp. 14-20.
- OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; GALVÃO, C. O.; LEITÃO, T. H. V. (2005). “*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* (10-4), pp. 73-83.
- LABSID – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. (2002). *AcquaNet – Modelo para Alocação de Água em Sistemas Complexos de Recursos Hídricos: Manual do usuário*. USP – Universidade de São Paulo. São Paulo.
- SCIENTEC (1997). Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. *Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba: Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas*. Governo do Estado da Paraíba; Secretaria do Planejamento, SEPLAN. João Pessoa, PB.

VIANNA JUNIOR, W. P.; LANNA, A. E. L. (2002) “*Simulação e otimização de um sistema de reservatórios: bacia do rio Curu*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (7- 3), pp. 63-83.