



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS

TALLES CHATEAUBRIAND DE MACÊDO

DERIVAÇÃO DE REGRAS BASEADAS EM CRITÉRIOS SUSTENTÁVEIS
PARA OPERAÇÃO MENSAL DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA

SUMÉ - PB
2020

TALLES CHATEAUBRIAND DE MACÊDO

**DERIVAÇÃO DE REGRAS BASEADAS EM CRITÉRIOS SUSTENTÁVEIS
PARA OPERAÇÃO MENSAL DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Gestão de Recursos Hídricos.

Linha de Pesquisa: Operação de Reservatórios.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias.

SUMÉ - PB
2020

M134d

Macêdo, Talles Chateaubriand de.

Análise quali-quantitativa da vegetação arbusto-arbórea da caatinga em Teixeira - PB. / Talles Chateaubriand de Macêdo. - Sumé - PB: [s.n], 2020.

80 f.

Orientador: Professor Dr. Camilo Allyson Simões de Farias.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Abastecimento de água - gestão. 2. Crise hídrica. 3. Operação de reservatórios de água. 4. Reservatório Eptácio Pessoa - PB. 5. Recursos hídricos. 6. Sistema de Recursos hídricos - Planejamento. I. Farias, Camilo Allyson Simões de. II. Título.

CDU: 628.1(043.2)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

TALLES CHATEAUBRIAND DE MACÊDO

**DERIVAÇÃO DE REGRAS BASEADAS EM CRITÉRIOS SUSTENTÁVEIS
PARA OPERAÇÃO MENSAL DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias (Orientador) - UFCG

Prof Dr. Hugo Morais de Alcântara – Avaliador Interno (Coordenador) – UFCG

Prof. Dr. Francisco Jácome Sarmiento - Avaliador Externo - UFPB

Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos – Avaliador Externo – UFCG

Assinada Digitalmente.



A autenticidade dessa ata de defesa pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>. Informando o código verificador **0878138** e o código CRC **FECC094C**

Data de aprovação: 30 de junho de 2020.

SUMÉ - PB

Dedico esse trabalho a minha família e a sociedade que me rodeia. Através de conquistas, felicidades e decepções, formou meu caráter, minha maneira de pensar e agir. Fez nascer em mim a vontade de ajudar e ensinar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao destino que me proporcionou ter nascido em uma família que teve condições e me apoiou em vários momentos durante a caminhada da vida.

Agradeço ao Prof.º Camilo, que teve toda paciência em me orientar e fez isso de maneira exemplar. Utilizou o conhecimento como arma de persuasão para que eu me capacitasse e refletisse. Foi um exemplar Professor!

Agradeço ao Prof.º Sarmiento, que tem contribuição substancial nesse trabalho. Através de conselhos, conversas e oportunidades contribuiu muito em expandir minha capacidade de visão profissional e acadêmica.

Agradeço ao Prof.º Valterlin, que além de conselhos essenciais durante a qualificação, posteriormente, foi solícito em propor fontes que embasaram abordagens importantes do trabalho.

Agradeço a Thamires, transcendendo qualquer convenção social, a defino como namorada, mulher, amiga, psicóloga e inspiração.

Agradeço a meu irmão Michele e a todos da família Formisano, fica aqui o registro histórico. Agradeço aos amigos da WCF jiu-jitsu Serra Branca, da “Diretoria Ambiental” e todos aqueles que, de alguma forma, foram trazidos como ramificações desses núcleos e somaram na minha vida.

Ao apoio para realização deste trabalho por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Profágua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, Projeto CAPES/ANA AUXPE N.º. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“Uma pesquisa é retrato do momento. Já a vida, a vida é um filme.”

Ciro Gomes

RESUMO

As frequentes crises hídricas experienciadas na região abastecida pelo açude Epitácio Pessoa — segundo maior da Paraíba — evidenciam a necessidade de se aproveitar eficientemente as águas disponíveis. Haja vista que sua área de contribuição constitui uma das regiões mais secas do Brasil, é preciso construir soluções sustentáveis e alternativas à Política de Operação Linear Padrão (SLOP, do inglês *Standard Linear Operating Policy*), método comumente utilizado para operar reservatórios. De tal modo, este trabalho objetivou desenvolver regras práticas para a operação mensal do reservatório Epitácio Pessoa, baseadas em indicadores de sustentabilidade. Por meio de um modelo de simulação-otimização, operou-se o reservatório por um período de 900 meses em três cenários distintos de demandas: o Cenário 1, com uma demanda de 2,045 m³/s, como determinado em documento técnico produzido pela Agência Nacional de Águas (2017); o Cenário 2 com 150% desta demanda; e o Cenário 3 com 200% da mesma. Determinou-se uma regra ótima para cada cenário com base em um índice de sustentabilidade e, posteriormente, comparou-se o comportamento da aplicação da regra otimizada com o modelo SLOP. Os resultados produzidos pelas regras otimizadas apresentaram-se menos vulneráveis do que àquele gerados pela aplicação da SLOP, mantendo níveis de confiabilidade e resiliência similares. Com as regras otimizadas, observou-se uma distribuição dos picos dos déficits no tempo, reduzindo, portanto, o estresse hídrico. O melhor índice de sustentabilidade foi observado na operação do reservatório com a regra otimizada determinada no Cenário 1. O volume médio e as taxas de vertimento do reservatório nas operações do Cenário 1 foram consideravelmente equivalentes aos valores históricos, indicando que a demanda de referência indicada pela ANA condiz com a realidade.

PALAVRAS-CHAVE: Operação de reservatórios. Modelo de simulação-otimização. Crise Hídrica. Semiárido. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The frequent water crises experienced in the region supplied by the *Epitácio Pessoa* reservoir - the second largest in Paraíba - show the need to efficiently use the available water. As the contribution area of the reservoir is one of the driest in Brazil, you need to build sustainable solutions and alternatives to the Standard Linear Operating Policy (SLOP), a method commonly used to operate reservoirs. In this way, this work aimed at developing practical rules for the monthly operation of the *Epitácio Pessoa* reservoir, based on sustainability indicators. Using a simulation-optimization model, the reservoir was operated for a period of 900 months in three different demand scenarios: Scenario 1, with a demand of 2,045 m³/s, as determined in a technical document produced by the Brazilian National Water Agency (2017); Scenario 2, using 150% of this demand; and Scenario 3, with 200% of it. An optimal rule was determined for each scenario based on a sustainability index and, subsequently, the behavior of the application of the optimized rule was compared to that derived from SLOP. The results produced by the optimized rules were less vulnerable than those generated by SLOP and kept similar levels of reliability and resilience. The operation with the optimized rules implied in the distribution of deficit peaks in time, reducing water stresses. The best sustainability index was observed in the operation of the reservoir with the optimized rule determined in Scenario 1. The reservoir average volume and spill rates under the operations of Scenario 1 were considerably equivalent to historical values, indicating that the reference demand suggested by the Brazilian National Water Agency matches reality.

KEYWORDS: Reservoir operation. Simulation-optimization model. Water crisis. Semiarid. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Série histórica do volume acumulado no reservatório Epitácio Pessoa (2008 – 2018).....	17
Figura 2 - Mapa de delimitação do semiárido.....	21
Figura 3 - Balanço hídrico em reservatórios.....	24
Figura 4 - Bacia hidrográfica do Rio Paraíba.....	29
Figura 5 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	34
Figura 6 - Curva cota x área x volume do Epitácio Pessoa.....	37
Figura 7 - Política de operação linear padrão.....	39
Figura 8 - Exemplo de regras de operação testadas.....	40
Figura 9 - Comportamento do ISmod ao longo das regras testadas no Cenário 1..	45
Figura 10 - Alocação Cenário 1 através da SLOP.....	45
Figura 11 - Alocação Cenário 1 através da Regra Otimizada.....	46
Figura 12 - Comportamento do volume no Cenário 1 aplicando o SLOP.....	47
Figura 13 - Comportamento do volume Cenário 1 através da regra otimizada.....	47
Figura 14 - Comportamento do vertimento no Cenário 1 através da SLOP.....	48
Figura 15- Comportamento do vertimento no Cenário 1 através da Regra otimizada	48
Figura 16 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 1 da SLOP	49
Figura 17 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 1 da regra otimizada.....	49
Figura 18 - Comportamento do ISmod ao longo das regras testadas no Cenário 2	50
Figura 19 - Alocação Cenário 2 através da SLOP.....	51
Figura 20- Alocação Cenário 2 através da Regra Otimizada.....	51
Figura 21 - Comportamento do volume no Cenário 2 aplicando o SLOP.....	52

Figura 22 - Comportamento do volume Cenário 2 através da regra otimizada.....	53
Figura 23 - Comportamento do vertimento no Cenário 2 através da SLOP.....	53
Figura 24 - Comportamento do vertimento no Cenário 2 através da Regra otimizada.....	54
Figura 25 - Comportamento da lâmina perdida para atmosfera Cenário 2 da SLOP.....	54
Figura 26 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 2 da regra otimizada.....	55
Figura 27 - Comportamento do IS ao longo das regras testadas no Cenário 3.....	56
Figura 28 - Alocação Cenário 3 através da SLOP.....	56
Figura 29 - Alocação Cenário 3 através da Regra Otimizada.....	57
Figura 30 - Comportamento do volume no Cenário 3 aplicando o SLOP.....	58
Figura 31 - Comportamento do volume Cenário 3 através da regra otimizada.....	58
Figura 32- Comportamento do vertimento no Cenário 3 através da SLOP.....	59
Figura 33 - Comportamento do vertimento no Cenário 3 através da Regra otimizada	59
Figura 34 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 3 da SLOP	60
Figura 35 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 3 da regra otimizada	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Panorama dos acontecimentos na crise hídrica de 1998-2003	16
Quadro 2 - Ficha Técnica do Reservatório Epitácio Pessoa	30
Quadro 3- Cidades abastecidas pelo Epitácio Pessoa.....	32
Quadro 4 - Dados de entrada referentes ao açude Epitácio Pessoa.....	35
Quadro 5- Afluências médias mensais.....	36
Quadro 6- Demandas do Açude Epitácio Pessoa.....	36
Quadro 7- Lâmina perdida para atmosfera	37
Quadro 8- Comparação SLOP e a regra otimizada - Cenário 1.....	46
Quadro 9- Comparação SLOP e regra otimizada - Cenário 2	52
Quadro 10- Comparação SLOP e regra otimizada - Cenário 3.....	57
Quadro 11- Relações entre o cenário real e as regras otimizadas	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	18
2.1 Geral	18
2.2 Específicos.....	18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 Situação dos Recursos Hídricos.....	19
3.2 Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos.....	21
3.3 Operações de Reservatórios	23
4 ÁREA DE ESTUDO	29
5 METODOLOGIA	33
5.1 Sistema Hídrico	34
5.1.1 Dados.....	34
5.1.2 Modelagem do Sistema Hídrico	38
5.2 SLOP.....	38
5.3 Modelo de Simulação-Otimização.....	39
5.4.1 Confiabilidade	41
5.4.2 Resiliência ou Elasticidade.....	41
5.4.3 Vulnerabilidade	42
5.4.4 Índice de Sustentabilidade	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
6.1 Cenário 1	44
6.1.1 Alocação	45
6.1.2 Comportamento do Volume	46
6.1.3 Lâmina Perdida para Atmosférica	48
6.2 Cenário 2	49
6.2.1 Alocação	50
6.2.2 Comportamento do Volume	52
6.2.3 Lâmina Perdida para Atmosférica	54
6.3 Cenário 3	55
6.3.1 Alocação	56
6.3.2 Comportamento do Volume	57
6.3.3 Lâmina Perdida para Atmosférica	59
6.4 Análise Comparativa	60

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICES	69

1 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais, a água é aquela que tem ligação imprescindível com o desenvolvimento de uma região, logo, atrela-se diretamente à qualidade de vida de uma determinada população. Podendo se comportar como fator limitante do desenvolvimento econômico de um lugar, região, país ou até um continente, a água apresenta uma distribuição irregular. A Terra possui cerca de 75% da sua superfície coberta por água, basicamente concentrada nos mares e oceanos. Entretanto, esses apresentam-se como fontes limitadas, visto que a água salina é imprópria para o consumo humano. Nos oceanos e mares estão contidos 97,4% de toda água existente no globo, sobrando apenas 2,6% de águas doces, das quais 90% correspondem a geleiras, restando menos de 0,3% disponíveis superficialmente e em lençóis subterrâneos de água líquida e doce (RIBEIRO; ROLIM, 2017).

O Brasil é o país mais privilegiado do mundo nesse contexto. Em termos globais, estima-se que o território brasileiro possui cerca de 12% da disponibilidade de água doce, todavia com uma distribuição geográfica desequilibrada. Pode-se citar, por exemplo, que a região Norte concentra, aproximadamente, 80% da quantidade de água disponível, no entanto, esta representa apenas 5% da população brasileira. Outro dado que corrobora com essa afirmação é que as regiões litorâneas possuem mais de 45% da população, porém, menos de 3% da água doce do país (ANA, 2020a).

Na tentativa de gerir esse recurso, foi promulgada, em janeiro de 1997, a Lei nº 9.433 – chamada de Lei das Águas do Brasil – que, em linhas gerais, visa promover o acesso à água para todos os brasileiros (BRASIL, 1997). A Lei das Águas também busca tornar a Gestão de Recursos Hídricos descentralizada, democrática e participativa, fazendo com que as decisões sejam tomadas no local das necessidades hídricas (ANA, 2020b).

Apesar de uma legislação moderna e com princípios democráticos, percebe-se, na prática, que ocorrem falhas graves em sua aplicabilidade. Trindade e Scheibe (2019) citam que dos 197 comitês de bacia instalados no Brasil, apenas 65 possuem planos aprovados, 16 estão com planos em processo de elaboração e 116 não apresentaram planos ou estão com essa informação indisponível para a população. Na prática, as regiões Norte e a Nordeste destacam-se pelo maior número de bacias com ausência de dados com relação ao planejamento.

Inserido na região Nordeste, o açude Epitácio Pessoa carece de estudos que permitam um melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis. Diante dos constantes eventos de estiagem, crises hídricas experienciadas e a falta de continuidade da chegada das águas provenientes da transposição do rio São Francisco na região de influência do Epitácio Pessoa, faz-se necessário um estudo que traga o “DNA” da bacia do reservatório, no qual se incorpore a preocupação com o abastecimento hídrico e o desenvolvimento social que tem relevância em grande parte do Estado da Paraíba.

Toma-se como embasamento justificativo do trabalho, a constatação que desde a sua inauguração, em 1957, a operação inadequada trouxe alguns momentos de racionamento considerável, em que foram necessárias interferências do Poder Judiciário, Ministério Público e pressão social para impor aos gestores tomadas de decisões emergenciais. Oliveira e Ribeiro (2004) citam momentos de interferência emergencial na operação do reservatório (QUADRO 1) durante um dos períodos de estiagem, iniciado em 1998.

Após 2004 a situação se regularizou, ocorrendo recargas regulares no reservatório, que chegou ao seu volume máximo e verteu em 2008, 2009 e 2012. Posterior a esses anos chuvosos, a região da bacia entrou em outro grave período de seca e o reservatório passou cinco anos com recargas insignificantes. Esse período é considerado o mais grave de sua história, em que a barragem chegou a apenas 3% de sua capacidade total e que a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) instalou flutuantes para capitar água do seu volume morto. Em seus estudos, Lucena (2018) apresenta um gráfico (FIGURA 1) que ilustra de maneira clara o período citado.

No momento mais crítico do reservatório, quando chegou ao volume morto, a partir do dia 18 de julho de 2016, foi adotado o último regime de racionamento para a região de Campina Grande, maior município atendido, com população estimada de 409.731 habitantes (IBGE, 2020).

Quadro 1- Panorama dos acontecimentos na crise hídrica de 1998-2003

Data	Acontecimento
01/06/1998	Instauração do Inquérito Civil Público no Ministério Público.
25/06/1998	Constituição de comissão de peritos “Grupo Permanente de Assessoramento Técnico do 2º Centro de Apoio Operacional – 2º CAOP (Ministério Público/Curadoria do Meio Ambiente).
Agosto de 1998	Suspensão da descarga de perenização (DNOCS).
13/10/1998	Racionamento do abastecimento público, duas vezes por semana (Companhia de água e esgotos da paraíba - CAGEPA).
02/11/1998	Criação da Associação dos Irrigantes do Açude Epitácio Pessoa.
17/11/1998	Decreto da suspensão administrativa, a partir de 01/12/1998, da utilização das águas do açude Boqueirão para irrigação (IBAMA, DNOCS, SEMARH, Procuradoria de Justiça do Estado).
03/12/1998	Rompimento do acordo sobre a suspensão administrativa da irrigação em função de desentendimentos entre Secretaria Estadual da Infraestrutura e IBAMA.
25/02/1999	Concessão de liminar dos pedidos da “Ação Cautelar contra o DNOCS” de suspensão da irrigação a montante da bacia hidráulica do Açude Boqueirão (a partir de 03/03/1999) e de manutenção do fechamento da comporta de perenização do rio Paraíba.
03/03/1999	Suspensão judicial da irrigação (Ministério Público e Justiça Federal).
Setembro de 1999	Racionamento do abastecimento público intensificado para quatro dias por semana (CAGEPA).
25/01/2000	Proposta de suspensão do racionamento do abastecimento público (Governo do Estado/CAGEPA) Reação contrária da população.
26/04/2000	Suspensão do racionamento do abastecimento (Governo do Estado/CAGEPA).

Fonte: Oliveira e Ribeiro (2004).

Figura 1- Série histórica do volume acumulado no reservatório Epitácio Pessoa (2008 – 2018).



Fonte: AESA (2017), por LUCENA (2018).

No período supracitado, a captação de água passou a ser através de bombas flutuantes, uma vez que o reservatório atingiu um nível em que não era possível a captação por gravidade. A vazão retirada do reservatório diminuiu cerca de 60% da retirada normal e nesse regime de racionamento a cidade foi dividida em duas zonas, por questões técnicas. A chamada Zona 1 ficava sem água por até 101h semanais e a Zona 2 por até 112h. Entre a tarde do sábado e a manhã da segunda-feira nenhum dos bairros das duas zonas recebia água. A realidade crítica vivida pela população abastecida pelo Açude Epitácio Pessoa teve essa conjuntura até quando o reservatório recebeu o aporte de águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), em 1 em abril de 2017.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver regras práticas para operação mensal do reservatório Epitácio Pessoa, baseadas em indicadores de sustentabilidade.

2.2 Específicos

- Propor regras operacionais baseadas na Política de Operação Linear Padrão (SLOP);
- Estabelecer cenários alternativos de demandas hídricas para operação do reservatório.
- Desenvolver e aplicar modelo de simulação-otimização para definição de regras otimizadas.
- Comparar o desempenho das regras escolhidas com o modelo SLOP.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Situação dos Recursos Hídricos

No cenário de análise proposto, sabe-se que os recursos hídricos do planeta sofrem pressões que geram escassez e problemas de quantidade e qualidade, causando grandes conflitos sociais e a degradação no ambiente. No mundo, as retiradas de água aumentaram mais de seis vezes se considerarmos apenas o último século, número esse muito superior se comparado ao da taxa de crescimento populacional. Estima-se que, em média, 35% da população mundial sofra de estresse hídrico de nível severo e cerca de 65% dos fluxos globais dos rios e ecossistemas aquáticos se encontram com altas taxas de degradação (KAHIL et al., 2016).

Atualmente, a escassez de recursos hídricos é a realidade da maior parte das regiões áridas e semiáridas do planeta, incluindo, por exemplo, as bacias hidrográficas dos rios Yellow, Jordan, Murray-Darling e Colorado, dentre outros tantos por todo o planeta. As mudanças climáticas afetam ainda mais a atual situação hídrica e futuros impactos já podem ser previstos – como o aumento do número de furacões, tornados, tempestades, etc. – causando, portanto, a diminuição da disponibilidade de recursos hídricos e secas mais severas, longas e frequentes (IPCC, 2014).

A potencial alteração drástica dentro do ciclo hídrico de grandes regiões é preocupante devido à importância que a água representa. Indicadores de alteração social, econômica e ambiental já são observados em várias regiões do mundo. O aquecimento global intensifica o processo de circulação atmosférica e o ciclo hidrológico, impactando diretamente na distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos e aumentando a falta d'água, principalmente em regiões áridas e semiáridas. A China, por exemplo, tem sua precipitação anual e o escoamento aumentando no sul do país, enquanto os dados mostram a diminuição no norte, provavelmente devido ao aquecimento global, resultando em possíveis inundações na região sul e agravamento das secas no norte (GUO; SHEN, 2016).

As regiões áridas e semiáridas apresentam ambientes frágeis e de baixa resiliência, principalmente devido à baixa altura de precipitação, grande irregularidade na distribuição pluviométrica regional e grandes taxas de evaporação. Essas representam cerca de 45% da área terrestre global e alimentam 38% da população

mundial. Os territórios áridos e semiáridos contribuem para a média anual da temperatura da superfície terrestre em cerca de 44%. Além disso, essas áreas têm sido propensas a frequentes eventos de mudanças abruptas de precipitação nos últimos 100 anos. Sob a influência de alterações climáticas, as regiões citadas são as mais sensíveis às respostas dos processos de energia e ciclo da água (YANG et al., 2019).

Com respeito ao Brasil, a heterogeneidade da distribuição dos recursos hídricos é notória. Santos e Farias (2017) destacam que, apesar de apresentar uma quantidade de precipitação média anual inferior 800 mm, a região semiárida brasileira (FIGURA 2) apresenta chuvas intensas, porém, a precipitação se caracteriza por uma grande irregularidade espacial e temporal. Conhecido com Polígono da Seca, no semiárido brasileiro existem 1.262 municípios, distribuídos em nove Estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (SANTOS; FARIAS, 2017).

Silva Filho et. al. (2015) destacam os níveis alarmantes do crescimento da demanda do uso dos recursos hídricos no semiárido brasileiro, aumentando ainda mais o desafio e a complexidade do processo de gestão hídrica nessa região. O enredamento do manejo hídrico se torna ainda mais difícil basicamente por quatro fatores: altas taxas de evaporação, baixa pluviometria, pouca oferta de águas subterrâneas e má distribuição sazonal dos recursos. Os fatores destacados inerente a realidade ambiental da região ressaltam a urgente necessidade de estudos de gerenciamento da água disponível na região (CELESTE et. al. 2007; CARNEIRO e FARIAS, 2013).

Sarmiento (2007) em seu trabalho sobre os impactos das mudanças climática no semiárido brasileiro, demonstra a preocupação com o aumento significativo na variabilidade dos eventos hidrológicos de vazão na bacia, o autor se preocupa com as consequências imediatas na regularização das barragens, em específico no reservatório Epitácio Pessoa. O trabalho traz uma análise econômica do fato e traz a dependência direta dos eventos climáticos com todo o Produto Interno Bruto (PIB) da região, principalmente no setor primário. As vazões afluentes ao reservatório Epitácio Pessoa, objeto de estudo desse trabalho, derivam da zona de menor índice pluviométrico do país, apresentam média anual em torno de 300 mm ao ano e representam um referencial razoável no entendimento de eventos hidrológicos que

interferem no PIB estadual. A irradiação proporcional dos números econômicos desse núcleo hidrologicamente menos favorecido com os números estaduais são perceptíveis. São raros eventos de seca ou de cheia na bacia do rio Paraíba que não atinjam também as outras bacias no estado. (SARMENTO, 2007)

Figura 2 - Mapa de delimitação do semiárido



Fonte: SUDENE (2017).

3.2 Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos

Um papel desafiador desenvolvido dentro do planejamento e na gestão dos recursos hídricos é identificar impactos e eventuais circunstâncias em instâncias futuras. Conquanto não se possa prever o futuro com precisão exata, a antecipação é necessária para o gerenciamento dos múltiplos usos da água, de modo que haja

garantia e segurança hídrica. Os cenários previstos motivam os gestores às tomadas de decisões específicas, às vezes desafiando seu pensamento atual e focando em possíveis situações futuras de curto e longo prazo. Nesse contexto, aparecem os diversos modelos matemáticos que incorporam os parâmetros relevantes para cada situação (GUPTA; KUMAR, 2018).

Silva et al. (2015) aplicam índices desenvolvidos por Moreira et al. (2012) para avaliar o conflito pelo uso dos recursos hídricos do Rio Paraopeba, em Minas Gerais. É considerado no trabalho que a maior parte dos conflitos pelo uso da água nasce por falta de gestão de recursos hídricos e planejamento, que estão ligados à inexistência de informações que associem as vazões já outorgadas com a disponibilidade hídrica, problema comum quando se avalia a realidade e a metodologia de concessão de outorgas em outros lugares do Brasil.

Da mesma forma, Jacobi et al. (2015) traz em seu estudo os erros de planejamento na crise hídrica na região de São Paulo, em que expõe a falta de planejamento estratégico. Tal fato é evidente quando o professor Paulo Nogueira Neto, para o jornal Folha de S. Paulo em 25 de maio de 1977, citado por Tuffani (2014), destaca que São Paulo deve "cuidar urgentemente da preservação de seus recursos hídricos", evidenciando particularmente a delicada situação. Ressaltou também: "E, talvez, antes do final do século, São Paulo terá que se abastecer com água transportada do vale do Ribeira". Apesar do alerta da Academia com um "sinal amarelo" bastante prévio, o poder público não foi capaz de evitar uma grande e atípica crise hídrica no abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Ainda nesse contexto, Jacobi et al. (2015) menciona uma pesquisa do Instituto Democracia e Sustentabilidade de 2014, que analisou 196 notícias veiculadas entre janeiro e outubro de 2014 sobre a crise hídrica da RMSP. Os resultados demonstrados dizem muito quando se observa a perspectiva da visão sobre o planejamento dos recursos hídricos. Em 72% dos noticiários a redução da chuva foi o principal fator para a crise hídrica na RMSP, com menor frequência também foram mencionadas como causas a má gestão da água, a falta de planejamento, as perdas no sistema e a falta de investimentos no setor. Destacando a visão minimalista dos meios de comunicação sobre a gestão dos recursos hídricos, questões como uso e ocupação do solo, ordenamento territorial e políticas de proteção dos recursos naturais quase não foram mencionadas (JACOBI et al. 2015).

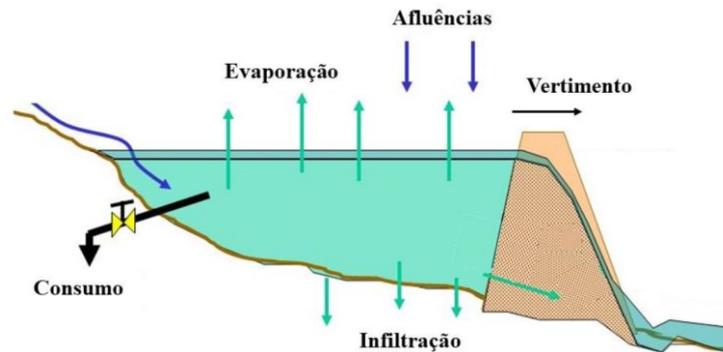
É notório que, em se tratando dos recursos hídricos, a visão holística que traz à tona cada etapa do ciclo da água, já considerando as intervenções humanas, necessita ser agregada ao processo de planejamento da ocupação do território. Montañó e Souza (2016) apontam que o planejamento adequado no setor hídrico oferece aos gestores públicos um subsídio muito importante com relação às decisões acertadas em cada cenário, trazendo o conhecimento da capacidade de suporte de um corpo hídrico como informação primordial para o planejamento.

Carvalho (2014) propõe, em seus estudos, compreender se as bacias hidrográficas, como unidade territorial para o planejamento dos recursos hídricos, estão sendo observadas com a visão do planejamento ambiental integrado, avaliando as relações sistêmicas e influências antrópicas. O autor ressalta a necessidade de que o Plano de Recursos Hídricos (PRH), um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), possam convergir para a obtenção de êxito. Externa-se, por fim, a necessidade de um debate para avaliar o ordenamento territorial, evitando a sobreposição e o desperdício de recursos e tempo, bem como fazendo com que o planejamento tenha um ambiente jurídico mais seguro, de maneira que a eficiência traga uma melhor qualidade ambiental e dos recursos hídricos.

3.3 Operações de Reservatórios

A Figura 3 traz um modelo simplificado de balanço hídrico, esquematizado por Lucena (2018). Quando se trata de operação de reservatórios, esse modelo é muito utilizado devido a sua simplicidade, considerando as entradas (afluências) e saídas (infiltração, evaporação, vertimento e consumo) de um determinado sistema hídrico.

Figura 3 - Balanço hídrico em reservatórios



Fonte: (LUCENA, 2018).

Em específico, considerando a situação do semiárido brasileiro, Lucena (2018) externa a preocupação com o aumento do volume evaporado em determinadas bacias hidrográficas, quando, por exemplo, vários reservatórios de menor porte são construídos a montante de um reservatório maior. Esses últimos são construídos objetivando o abastecimento de grandes populações e todo seu planejamento ou a garantia do atendimento da demanda planejada pode ser gravemente afetado por tais construções. Na maioria das vezes, essas construções são realizadas sem licenciamento e por pequenos agricultores, que não vislumbram o impacto causado na bacia hidrográfica. Desse modo, a operação do reservatório pode alterar seu padrão e deve ser atualizada, o que requer o controle das ações e obras dentro da sua bacia hidrográfica, considerando as características sociais, climáticas e estruturais.

Celeste et. al. (2007) trazem a preocupação com o alto coeficiente de variação e de assimetria nas vazões mensais dos rios de regiões áridas e semiáridas como é o caso no nordeste brasileiro. As vazões nulas e não nulas observadas se torna um grande desafio para o planejamento da operação de reservatórios em comparação as vazões perenes e regulares observadas em regiões úmidas.

Não realizando uma avaliação criteriosa nas devidas particularidades do reservatório, a utilização de regras fixas para operação envolvendo a alocação de água pode gerar: por um lado, grandes acúmulos caso haja uma abordagem muito conservadora, potencializando o grande volume evaporado; ou, por outro, um colapso hídrico no caso de liberação exagerada para o sistema. Sendo assim, é primordial

uma avaliação que englobe os múltiplos objetivos e não apenas uma avaliação econômica de curto prazo (NUNES et al., 2016).

Segundo Allawi et al. (2018), um dos obstáculos mais desafiadores no que concerne a gestão e planejamento dos recursos hídricos é, justamente, a operação de reservatórios. Quando se trata dessa função operacional, o principal objetivo é garantir o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis, de modo a atender as demandas e assegurar a sustentabilidade do sistema. O fluxo de água tem natureza estocástica, por isso a complexidade das regras de operação de reservatórios. Através de informações contidas em banco de dados, dentre elas o nível de armazenamento e suas respectivas vazões efluentes, determina-se o modo de alocação para cada reservatório (LI et al., 2014).

Farias (2009a) traz a importância de modelos de geração sintética de vazões, usados como suporte na determinação de regras de operação de reservatórios. O autor ressalta a necessidade de se evitar o colapso do sistema de abastecimento por meio do estabelecendo de regras de racionamento, destacando as prioridades, a fim que os usuários não se deparem com a completa falta de água.

Junto à intensidade que os estudos científicos trazem na difícil busca por regras de operação ótimas para reservatórios, veio o inevitável interesse em utilizar recursos computacionais para auxiliar nessa tarefa. Os *softwares* proporcionam a união de diversos dados e parâmetros de maneira viável, se tornando ferramentas importantíssimas para auxiliar no desafio da operação de reservatórios. Um sistema complexo, não-linear, com múltiplos propósitos e restrições como uma barragem, faz com que algoritmos avançados devam ser utilizados para lidar com essas aplicações. De tal modo que, atualmente, diversos modelos de otimização de operação de reservatórios são amplamente utilizados no objetivo de prover simulações de cenários diversos, realizando operações ótimas, de modo a sanar as demandas envolvidas (ALLAWI et al., 2018).

Farias (2009a) define otimização como um conjunto de técnicas que tem como premissa encontrar um conjunto de valores para as variáveis de decisão que maximizem ou minimizem a função-objetivo, respeitando as restrições impostas ao sistema. Sua principal vantagem é a geração de soluções ótimas, de forma simultânea, com resultados que respeitam as restrições atribuídas.

Mediante esse fato, as técnicas de otimização estocástica se somam como importantes ferramentas para determinação de regras operacionais de sistemas de recursos hídricos, buscando minimizar os impactos advindos da falta d'água, uma vez que tentam incorporar as incertezas hidrológicas da região (LOUCKS et al., 1981).

Farias (2003) traz que os métodos estocásticos admitem que os deflúvios sigam as leis probabilísticas de formação, as series sintéticas de vazão mantem parâmetros estatísticos como média, desvio padrão, distorções e curtoses. O autor destaca ainda que nesse cenário, comparado aos métodos determinísticos e empíricos, os métodos estocásticos ganham destaques uma vez que possibilitam explorar de melhor forma a informações necessária para modelagem.

No contexto de buscar operações ótimas para alocação de água em reservatórios, Zhang et al. (2015) utilizaram o modelo BMA (*Bayesian Model Averaging*) combinado a três modelos individuais: PL REG (*Piecewise linear regression*), SURF (*Surface fitting model*) e LS-SVM (*Least squares support vector machine*). Tal combinação visou estabelecer regras de operação com maior confiabilidade e menores incertezas. Aplicando a metodologia na barragem Baise (China) obtiveram resultados promissores. O modelo proposto pode superar qualquer modelo individual de regras operacionais com base nas trajetórias ótimas, o modelo LS-SVM se mostrou mais eficaz que o PL REG e o SURF, e a operação determinística ótima do reservatório é superior às regras operacionais do reservatório, desde que as vazões efluentes históricas observadas sejam utilizadas.

Ainda, Dessu et al. (2019) demonstraram em seu trabalho um modelo de otimização com classificação de prioridade (*Priority Rated Optimization Model - PROM*) com o objetivo de avaliar e alocar, atuando no gerenciamento dos recursos hídricos multissetoriais. Essa nova metodologia utiliza fatores chamados FDC (*flow duration curves*), DSR (*demand-to-supply ratio*) e UI (*utility indices*). Aplicando o PROM na bacia hidrográfica do rio Mara, localizado no Quênia/Tanzânia, conseguiram uma potencial significativa melhoria em relação ao manejo atualmente utilizado, considerando o ecossistema de Mara-Serengeti. O modelo traz uma plataforma simples para se utilizar, tornando-se mais fácil explorar cenários diversos de alocação de água e conseguindo, ainda, uma correlação mais evidente entre os modelos ambientais e os econômicos.

Em seus estudos, Feng et al. (2019) evidenciaram a complexidade que gira em torno da operação de reservatórios. Os autores adaptaram as operações das barragens localizadas na China, envolvidas na transposição “*South-to-North Water Transfer Project*” (SNWTP), considerando o Sistema de Abastecimento de Água, Geração de Energia e Meio Ambiente, do inglês “*Water supply, Power generation and Environment*” (WPE). Analisando as dinâmicas desse sistema, através de um modelo de otimização multifatorial que visou obter regras para operação, obtiveram os seguintes resultados: as compensações entre sistemas WPE e regras operacionais dos reservatórios alteram pela variação socioeconômicas da região e o fator que controla a mudança de comportamento do reservatório pode ser identificado de acordo com uma data variável. Este estudo traz resultados que corroboram com a primordial necessidade, já comentada nesse trabalho, de se reavaliar consistentemente as regras de operação e políticas operacionais propostas no tempo.

Além da otimização, Santos (2011) ressalta a importância da simulação na operação de reservatórios. Segundo autor a simulação é caracterizada como uma representação matemática de um sistema físico com a finalidade de estudar e prever o comportamento dentro de certo conjunto de condições iniciais, ou seja, é uma técnica de modelagem usada para aproximar o comportamento espacial e/ou temporal de um sistema, representando as principais características por meio de equações matemáticas. A principal vantagem da técnica de simulação é a flexibilidade, pois permite que todas as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática mais detalhada e realista, devido ao requerimento para se resolver um sistema de equações associado a um instante de tempo de cada vez (SANTOS, 2011).

Farias (2009b) utilizou o modelo de rede de fluxos AcquaNet na bacia hidrográfica do rio Paraíba, considerou seis cenários e simulou uma série de 59 anos, com o incremento da vazão exógena de 4,2 m³/s do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF). Devido ao incremento, em nenhum dos cenários houve falhas no atendimento às demandas do sistema. Os modelos de simulação são largamente utilizados em todo o mundo no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos em sistemas de múltiplos reservatórios, visto a facilidade de trabalhar com a estipulação de cenários, sem a necessidade de muitas simplificações na construção, o que não acontece com os modelos de otimização.

Lucena (2018) usando técnicas de simulação para o reservatório Epitácio Pessoa, conclui que com a implementação de um modelo eficiente de gestão dos recursos hídricos, limitando as retiradas do reservatório às vazões outorgadas, fiscalizando tais retiradas, assim como com utilização de técnicas de diminuição de perdas evaporativas, se poderia evitar que o reservatório chegasse a um nível crítico e tão preocupante de quase colapso total do abastecimento de uma população de mais de meio milhão de habitantes, como ocorreu na última grande crise hídrica da barragem.

4 ÁREA DE ESTUDO

O reservatório Epitácio Pessoa – também chamado de Boqueirão – está localizado no município de Boqueirão, no Estado da Paraíba, possuindo como afluentes o Rio Taperoá e o Rio Paraíba. É considerada a maior e mais importante barragem inserida na Bacia hidrográfica do Rio Paraíba, como pode ser observado na Figura 4 e no Quadro 2.

Figura 4 - Bacia hidrográfica do Rio Paraíba



Fonte: AESA (2020).

Quadro 2 - Ficha Técnica do Reservatório Epitácio Pessoa

Dados Gerais	
Código ANA	978
Rio	Rio Paraíba
Bacia	Paraíba
Município / Estado	Boqueirão/PB
Latitude	07° 29' 52,39" S
Longitude	36° 08' 30,74" W
Operador	DNOCS
Proprietário	DNOCS
Ano Conclusão Construção	1956
Dados Operativos	
Área de Drenagem Incremental (km ²)	7.403,10
Área de Drenagem Total (km ²)	12.394,50
Volume Máximo (hm ³)	411,69
Volume Mínimo (hm ³)	34,19
Volume Útil (hm ³)	377,49
NA Máximo Operacional (m)	377,86
NA Mínimo Operacional (m)	359,36
Dispositivo de Medição de Nível/ Volume do Reservatório	Conjunto de régua linimétrica e PCD
Dispositivo de Medição de Vazão Defluente	Medidor de vazão tipo vertedor de soleira livre, porém nunca foi usado.
Dados Estruturais	
Material Barragem Principal	Terra homogênea
Extensão Barragem Principal (m)	347
Altura Barragem Principal (m)	43,90 (55,70 incluindo fundação)
Cota do Coroamento Barragem Principal (m)	383,36
Tipo do Vertedor Principal	Livre com perfil em soleira espessa
Cota da Soleira Vertedor Principal (m)	Margem direita: 377,86; margem esquerda: 378,36.
Tomada D'Água – Abastecimento Demandas	Tubulação de 1,5m de diâmetro; comporta stop-log; duas derivações controladas por registros gaveta de 0,75m de diâmetro.
Tomada D'Água – Liberação para Jusante	Parcialmente operante. Comporta não está funcionando. Tubulação de 1,5m de diâmetro; comporta stop-log; registros gaveta de 0,50m de diâmetro.

Fonte: ANA, 2017.

A área de contribuição do reservatório é uma das regiões com menores índices pluviométricos do Brasil. Silva et al. (2014) demonstraram em sua análise, com foco

na região do alto curso do Rio Paraíba, que a água vem recebendo elevadas cargas de nutrientes devido à degradação da vegetação nativa dentro da área da bacia, atividades agropastoris sem o manejo ou planejamento adequado, assim como o lançamento de esgotos não tratados e descarte inadequado de resíduos sólidos. Tais informações, somadas à baixa dinâmica bioenergética existente – inerente às características físicas do semiárido, evidenciam o olhar sistêmico que a gestão de recursos hídricos deve apresentar.

Em um levantamento realizado por Seabra et al. (2014) de uso e cobertura do solo na sub-bacia do rio Taperoá, os resultados apresentaram um baixo percentual de cobertura vegetal de Caatinga, com um predomínio da agricultura e pecuária. Há também uma forte correlação entre a densidade de bovinos e a redução da cobertura vegetal nos municípios estudados. O grande entrave é que, após uma determinada área ser explorada, seja pela agricultura ou pela pecuária, a baixa resiliência faz com que essas áreas não se recuperem facilmente; ou seja, mesmo que intocadas, a produção agropecuária diminui e essas zonas são abandonadas, geralmente, com solo exposto, compactado, salinizado e com baixíssima diversidade ecológica.

As informações supramencionadas podem ser cruzadas com as contidas no trabalho de Santos (2014), o qual aborda características socioeconômicas dos municípios do alto curso do Rio Paraíba. O autor destaca a baixa densidade demográfica na região, se comparada com outros locais do Estado. O PIB local representou apenas 2,2% do PIB estadual, mesmo apresentando 3,42% da população. No balanço entre oferta e demanda hídrica, a análise constata que há um crescimento no aspecto da demanda.

As características levantadas na área da bacia hidrográfica do reservatório corroboram que as políticas de operação devem ser periodicamente revisadas. A bacia vem sendo degradada, o assoreamento no reservatório é notório e considerável, sua capacidade que era 535.680.000 m³ (DNOCS, 2020) passou a ser 466.525.964 m³ (AESAs, 2020), a demanda aumentou e a afluência que chega a barragem, conseqüentemente, foi alterada, tanto em quantidade como em qualidade.

Atualmente, o reservatório Epitácio Pessoa é o segundo maior do Estado da Paraíba, abastecendo a população estimada de 700 mil pessoas (ANA, 2017), nas cidades descritos no Quadro 3.

Quadro 3- Cidades abastecidas pelo Eptácio Pessoa

Alagoa Nova/PB	Matinhas/PB
Alcantil/PB	Montadas/PB
Areial/PB	Olivedos/PB
Barra de Santana/PB	Pedra Lavrada/PB
Barra de São Miguel/PB	Pocinhos/PB
Boa Vista/PB	Puxinanã/PB
Boqueirão/PB	Queimadas/PB
Cabaceiras/PB	São Sebastião de Lagoa de Roça/PB
Campina Grande/PB	São Vicente do Seridó/PB
Caturité/PB	São Vicente do Seridó/PB
Cubati/PB	Soledade/PB
Juazeirinho/PB	Sossêgo/PB
Lagoa Seca/PB	

Fonte: ANA, 2017.

5 METODOLOGIA

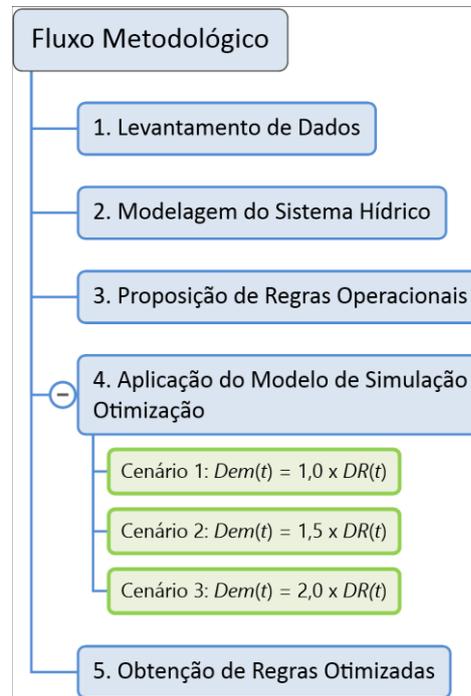
De modo a atingir os objetivos propostos, realizou-se o levantamento bibliográfico, assim como a coleta e a organização dos dados hidrometeorológicos e das demandas do reservatório. Nesse aspecto, vale frisar que é sabido que, desde 2017, o mesmo vem recebendo águas transpostas, sem regularidade, do rio São Francisco. Todavia, as grandes incertezas que pairam no ambiente técnico-político, no que concerne a transposição, dificultam a consideração de qualquer volume regularizado que chegue à barragem estudada. Deste modo, o trabalho trata como afluência apenas os volumes hídricos que chegam derivados da área de contribuição do reservatório.

Sabendo a imensa dimensão da bacia hidráulica do reservatório objeto, que dificulta o controle e a fiscalização dos furtos hídricos ou qualquer outra potencial expansão das defluências, considerou-se nesse trabalho três cenários de demanda: (1) a demanda regularizada (DR) determinada pela ANA (2017), (2) uma demanda 50% acima da DR e (3) uma demanda 100% acima da DR. Dessa maneira, em caso prático, se observado retiradas acima das estabelecidas nesses níveis, o trabalho ainda cumpre seu objetivo geral e traz a operação mensal nos termos propostos.

Destarte, para a realização da simulação/otimização das regras de operação estudadas, foi utilizado o *software* MATLAB (versão R2015b). Através da linguagem de programação adequada, este possui alta performance na integração de análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos.

Para uma melhor compreensão, é apresentado um esquema com a representação dos passos mencionados, conforme observado na Figura 5. A figura também define as demandas utilizadas na simulação dos cenários com base na demanda regularizada $DR(t)$ fornecida pela ANA (2017).

Figura 5 - Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Autor.

5.1 Sistema Hídrico

5.1.1 Dados

As demandas hídricas e outros dados hidrometeorológicos, necessários para a simulação da operação do reservatório, foram coletados a partir de diversas fontes, conforme descrito no Quadro 4, a seguir.

Quadro 4 - Dados de entrada referentes ao açude Epitácio Pessoa

Dados	Período	Fonte
Afluências	01/1917 a 12/1991	Aplicação do MODHAC
Demanda	2017	ANA (2017)
Curva cota-área-volume	2019	AESA (2019)
Volumes (máximo e mínimo)	2019	AESA (2019)
Lâmina (evaporada – precipitada)	-	ANA (2017)

Fonte: Autor.

5.1.1.1 Afluências

As vazões afluentes dispostas no trabalho foram determinadas utilizando o Modelo Hidrológico Auto-Calibrável (MODHAC), desenvolvido por Lanna e Schwarzbach (1989), no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este é um modelo chuva-vazão que, a partir de precipitações diárias, gera uma série de vazões sintéticas. O MODHAC é um *software* conceitual global, com 12 parâmetros de calibração e apresenta um bom desempenho no que diz respeito ao escoamento (LANNA; SCHWARZBACH, 1989). Assim, seu balanço hídrico permite simular os processos de interceptação da água pela vegetação, o armazenamento da água no solo desde a superfície do terreno até a profundidade radicular das plantas, a infiltração e a recarga após a saturação, a evaporação e a evapotranspiração.

De acordo com Dos Santos (2017), através da aplicação do MODHAC em uma bacia do Cariri paraibano, mais precisamente a sub-bacia do rio Taperoá, área de contribuição do reservatório objeto, concluiu-se que as séries de vazões sintéticas geradas pelo modelo são bem confiáveis. Além disso, observou-se grande equivalência estatística da série de vazão afluente utilizada nesse trabalho com aquela utilizada por Nunes (2015), essas últimas geradas através do balanço hídrico das águas do Epitácio Pessoa.

À vista disso, para gerar as afluências dispostas, foram utilizadas as chuvas médias mensais observadas nos postos pluviométricos contidos na área não controlada da bacia (7403,1 km²), ou seja, aquela que se encontra entre os reservatórios de montante do Epitácio Pessoa e o mesmo. A série pluviométrica utilizada no modelo está disponível no site da Sudene (2020) e apresenta dados de janeiro de 1917 até dezembro de 1991.

O Quadro 5 apresenta as afluências médias mensais empregadas neste estudo.

Quadro 5- Afluências médias mensais

Mês	Jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	Ago	set	out	nov	Dez
m ³ /s	0,68	2,82	10,19	17,89	13,05	4,51	2,38	0,17	0,01	0,13	0,12	0,49

Fonte: Autor.

5.1.1.2 Demandas

As demandas utilizadas (QUADRO 6) foram retiradas do trabalho publicado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), intitulado “Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação” e estão dispostas em seu Anexo A, o qual traz informações detalhados sobre o reservatório foco deste estudo.

Quadro 6- Demandas do Açude Epitácio Pessoa

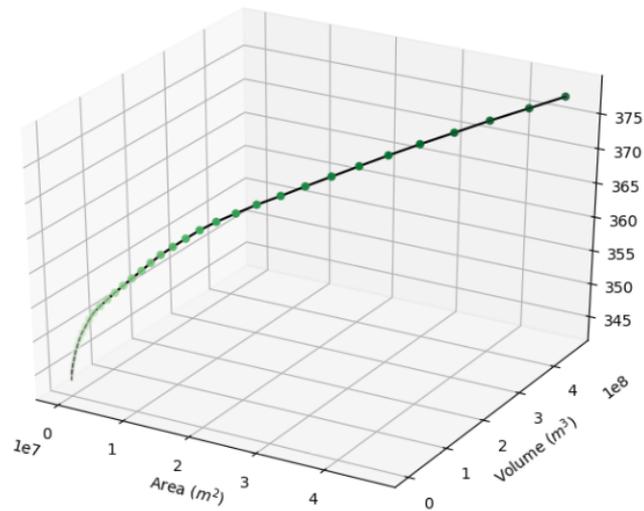
Demandas	l/s	m ³ /mês
Abastecimento Urbano	1415	3.718.620
Abastecimento Rural	78	204.984
Dessedentação Animal	63	165.564
Irrigação	489	1.285.092
Total	2045	5.374.260

Fonte: ANA (2017).

5.1.1.3 Curva cota-área-volume

A curva cota-área-volume foi coletada junto a Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESAs), através de batimetria realizada pelo órgão em 2019. Esta se encontra detalhadamente descrita no Anexo 2, representada aqui pela Figura 6.

Figura 6 - Curva cota x área x volume do Epitácio Pessoa



Fonte: AESA (2019).

5.1.1.4 Volume máximo e mínimo

Os volumes máximo e mínimo foram determinados através de batimetria realizada pela AESA em 2019.

$$V_{\text{máx}} = 466.525.964,1 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{min}} = 40.683.439,5 \text{ m}^3$$

5.1.1.5 Lâmina

A lâmina utilizada no trabalho (QUADRO 7) se trata da lâmina evaporada subtraída a lâmina precipitada na bacia hidráulica do reservatório.

Quadro 7– Lâmina perdida para atmosfera

Mês	Jan	Fev	mar	Abr	Mai	Jun	jul	Ago	Set	Out	nov	Dez
Mm	186	132	65	47	40	37	61	120	165	196	224	214

Fonte: ANA (2017).

5.1.2 Modelagem do Sistema Hídrico

Para a operação do reservatório, as alocações e os volumes de cada mês serão relacionados com vazões afluentes, evaporações, precipitações e vertimentos pela equação da continuidade:

$$S(1) = S_0 + Q(1) - R(1) - Ev(1) + P(1) - Sp(1)$$

$$S(t) = S(t-1) + Q(t) - R(t) - Ev(t) + P(t) - Sp(t); \quad \text{para } t = 2, \dots, N \quad (1)$$

em que $S(t)$ é o volume do reservatório no final do período t ; S_0 é o volume inicial; $Q(t)$ é a vazão afluente ao sistema durante o período t ; $Ev(t)$ é o volume evaporado no reservatório durante o período t ; $P(t)$ é o volume de precipitação sobre a superfície líquida do reservatório durante o período t ; e $Sp(t)$ é o vertimento que eventualmente pode ocorrer durante o período t .

As limitações físicas do sistema definem as restrições para alocações, volume, vertimento, evaporação e precipitação:

$$0 \leq R(t) \leq D(t); \quad \forall t \quad (2)$$

$$S_{\min} \leq S(t) \leq S_{\max}; \quad \forall t \quad (3)$$

$$Sp(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (4)$$

$$Ev(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (5)$$

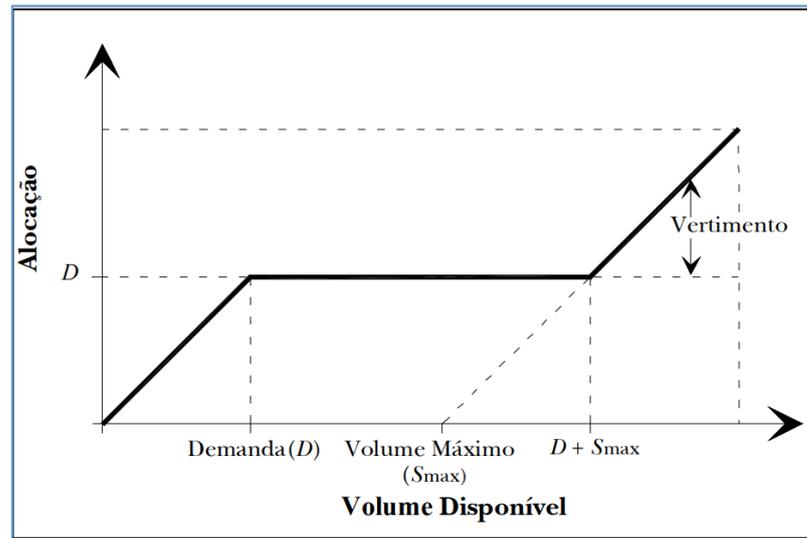
$$P(t) \geq 0; \quad \forall t \quad (6)$$

onde S_{\max} e S_{\min} são os volumes máximo e mínimo do reservatório, respectivamente.

5.2 SLOP

O SLOP expressa que quando a água disponível é igual ou inferior à demanda, toda a água armazenada é liberada. No entanto, quando a água disponível é superior à demanda, a mesma é atendida e o excedente vai se acumulando no reservatório, até que o seu volume máximo seja atingido e o vertimento se inicie (Loucks et al., 1981). Tais relações podem ser observadas na Figura 7.

Figura 7 - Política de operação linear padrão



Fonte: Carneiro e Farias (2013).

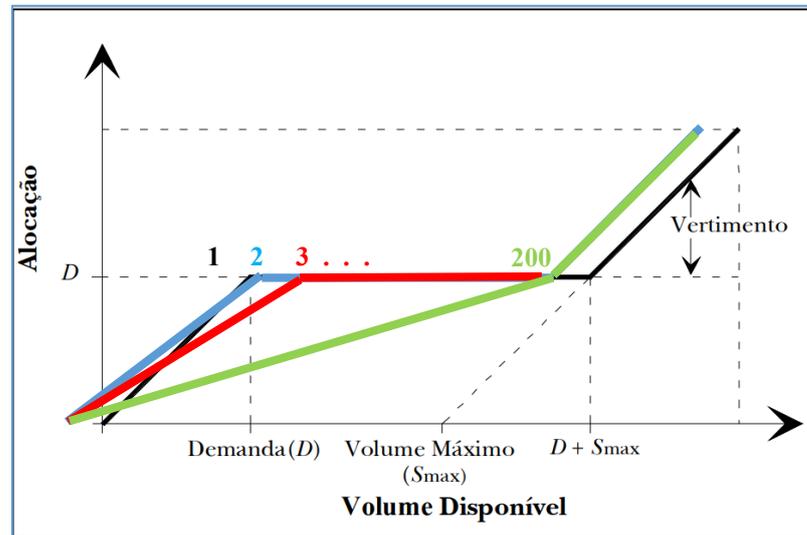
5.3 Modelo de Simulação-Otimização

Este método consiste em aplicar um modelo simulação-otimização para testar políticas de operação (regras) alternativas ao SLOP. Na prática, testou-se 200 regras para o racionamento do fornecimento hídrico, definidas por diferentes pontos ao longo da reta no eixo das abscissas do gráfico do modelo SLOP, que vai do ponto de demanda (D) até o ponto de volume máximo mais a demanda ($S_{\max}+D$). A Figura 8 traz a representação gráfica das regras testadas.

Assim, a aplicação de cada uma das regras obteve comportamentos diferentes com relação ao comportamento do volume disponível no reservatório. Observou-se, para cada cenário de demanda, o ponto “ótimo” que maximizava um índice de sustentabilidade baseado na proposta de Loucks (1997).

Na prática, para comprovar a viabilidade da proposta, dentre as 200 regras simuladas, comparou-se a regra número um (SLOP) com aquela otimizada nos termos supracitados.

Figura 8 - Exemplo de regras de operação testadas



Fonte: Adaptado de Carneiro e Farias (2013).

5.4 Indicadores de Sustentabilidade

Os indicadores servem como métricas comparativas ou simplificadores de informações, referentes a um determinado problema objeto. Dessa forma, atuam dando segurança a uma tomada de decisão ou antecipando eventuais problemas. Durante os períodos de estiagem, o aparecimento de falhas na operação dos sistemas de reservatórios é frequente. Sendo assim, as falhas observadas em 900 meses de simulação do comportamento do Epitácio Pessoa foram caracterizadas por meio de indicadores de sustentabilidade (confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade), com base nos estudos de Hashimoto et al. (1982). Ademais, uma variação do Índice de Sustentabilidade, desenvolvido por Loucks (1997), foi utilizada para determinar a regra proposta por esse trabalho.

Isto posto, os referidos indicadores são capazes de medir o desempenho de um sistema, principalmente em períodos de seca, e auxiliam na avaliação de futuros projetos a serem implantados, propiciando melhores condições para o analista prever cenários futuros (PAIXÃO et al., 2003).

5.4.1 Confiabilidade

Considera-se que a operação do reservatório se encontra estável quando a oferta hídrica é igual ou maior que a demanda do sistema. Quando há uma queda na oferta para níveis menores do que a demanda, é dito que o sistema entrou em colapso ou falha. Nesse contexto, cabe o entendimento do conceito de confiabilidade do sistema. Paixão et. al (2003) definem confiabilidade como a probabilidade da operação do sistema estar em estado satisfatório, ou seja, a confiabilidade é a probabilidade de todas as demandas serem atendidas sem falhas.

Desta forma, a confiabilidade (*conf*) mede a probabilidade da série temporal permanecer em estado satisfatório S durante o horizonte de operação, ou seja, a percentagem do tempo em que o sistema funciona sem falhas (CELESTE et al., 2005). Então, a equação a ser utilizada para o cálculo da confiabilidade pode ser expressa como:

$$conf = prob\{X_t \in S\} = prob\{X_t \geq X_0\} = 1 - \frac{NF}{NT} \quad (7)$$

Onde o desempenho do sistema ao longo do tempo determinado pela série temporal X_t , $t = 1, \dots, NT$, e que um valor limite X_0 seja especificado, separando os valores satisfatórios dos insatisfatórios, de modo que uma falha ocorra quando $X_t < X_0$. S representa o estado satisfatório, e NF o número total de intervalos de tempo no qual $X_t < X_0$.

5.4.2 Resiliência ou Elasticidade

Tendo em vista que um determinado sistema hídrico se encontre em falha (atendimento menor que a demanda), cabe ao analista entender por quanto tempo o sistema continuará nesse estado. Nesse cenário, pode-se visualizar de maneira mais clara a importância da resiliência ou elasticidade do sistema hídrico. Esse índice é medido como a escala de tempo da capacidade do sistema em retornar ao estado satisfatório, uma vez que a falha ocorre. Logo, um sistema resiliente consegue voltar o mais cedo possível ao estado normal de operação, enquanto um sistema pouco

resiliente se caracteriza por um evento prolongado de recuperação lenta (PAIXÃO et al., 2003).

Segundo Farias (2009a), em alguns casos é preferível um sistema que tenha muitas falhas, mas que se recupere rapidamente, do que um que tenha poucas falhas e que se recupere lentamente.

Dessa forma, a resiliência (*res*) também pode ser definida como o inverso do valor esperado do tempo, em que o sistema permanece em estado insatisfatório (CELESTE et al., 2005). Então, a equação que será utilizada para o cálculo da resiliência pode ser definida como:

$$\begin{aligned} res &= \frac{1}{E\{d\}} = \left[\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M dj \right]^{-1}; \text{ para } M > 0 \\ res &= 1; \text{ para } M = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Onde *dj* é a duração, *j* é *simo* evento de falhas, com *j* = 1, ..., *M*, onde *M* é o número de eventos insatisfatórios.

5.4.3 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade (*vul*) mede a magnitude das falhas as quais o sistema está sujeito, caso ela tenha ocorrido (FARIAS, 2009a). Mesmo que um sistema se encontre em estado insatisfatório por um determinado período de tempo, este quadro não demonstra quais as consequências que a falha pode estar ocasionando. Portanto, toma-se a vulnerabilidade como sendo a quantidade hídrica, em termos de volume, que o sistema deixa de ofertar para suprir as necessidades exigidas, uma vez que ocorram falhas de abastecimento. Assim, quanto maior o déficit hídrico, mais vulnerável será o sistema (PAIXÃO et al., 2003). Segue a equação define o indicador vulnerabilidade:

$$vul = E\{S\} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{Sj}{demj} \quad (9)$$

Onde: *Sj* o volume do déficit e *demj* o volume total demandado no *j*-ésimo evento de falhas, com *j* = 1, ..., *M*, onde *M* é o número de eventos insatisfatórios.

5.4.4 Índice de Sustentabilidade

O Índice de Sustentabilidade (IS), ou Índice de Sustentabilidade Hídrica, é um fator desenvolvido pelo estudo de Loucks (1997) que equaliza os parâmetros desenvolvidos por Hashimoto et al. (1982). Esse produto de interação apresenta uma variação que vai de 0 (para o sistema hídrico insustentável) até o valor de 1 para um sistema hídrico com sustentabilidade máxima (Loucks, 1997).

$$\text{Índice de Sustentabilidade (IS)} = \text{conf} \times \text{res} \times (1 - \text{vul}) \quad (10)$$

Para a determinação das regras propostas, nesse estudo, utilizou-se uma variação direcionada a evitar maiores picos de falha que, na prática, significam fugir de situações mais estressantes. Em vez da vulnerabilidade de toda série temporal utilizada no trabalho, como proposto por Loucks, empregou-se a **vulnerabilidade máxima média**, representada pela média das maiores vulnerabilidades observadas em cada evento de falha dentro da série histórica estudada. Ademais, para que se obtenha um IS numericamente equivalente aos parâmetros de sustentabilidade utilizados, optou-se por aplicar a raiz cúbica de toda equação. Por fim, é possível observar o cálculo do IS modificado na Equação 11.

$$IS_{\text{mod}} = (\text{conf} \times \text{res} \times (1 - \text{vul máx média}))^{1/3} \quad (11)$$

Para cada cenário considerado, foi escolhida aquela regra que trouxe o maior valor de IS_{mod} .

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizou-se, como critério operacional, o volume de 58,5% da capacidade máxima do reservatório no início das operações simuladas. Sendo assim, cabe destacar que esse valor é derivado do volume médio observado em um banco de dados fornecido pela AESA (2019) por meio de coletas mensais do nível do reservatório, que vão de janeiro de 1990 até junho de 2019 (ANEXO 1).

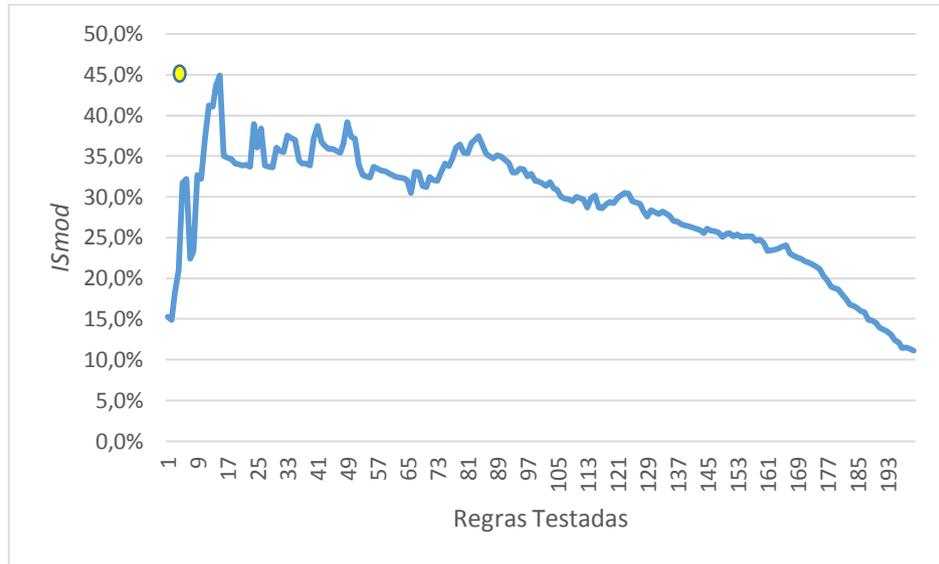
6.1 Cenário 1

O cenário proposto considera uma vazão de demanda para o reservatório de 2,045 m³/s na simulação, conforme documento técnico da ANA. Dentre as 200 simulações realizadas, através das regras operacionais já descritas, determinou-se a regra “ótima” de operação, a qual apresentava o *ISmod* máximo. A regra mais sustentável, segundo o modelo, foi a Regra #15. Na prática o reservatório entraria em falha quando atingisse 16,72% do seu volume disponível e o decaimento da vazão alocada respeitaria uma reta de coeficiente angular de 0,144.

A equação do *ISmod* sugere que o mesmo cresce com o aumento da confiabilidade e da resiliência, e com o decréscimo da vulnerabilidade. O parâmetro de sustentabilidade mais influente no índice foi a vulnerabilidade máxima média, que passou de 98% na SLOP para 35,2% na regra otimizada. A confiabilidade passou de 97% para 93,3% e a resiliência foi de 18,5% para 15%, quando comparamos a SLOP com a regra otimizada, respectivamente.

A Figura 9 traz o comportamento do *ISmod* ao longo das regras testadas. A Regra #1 (SLOP) apresentou *ISmod* de 15,3% e o ponto “ótimo” teve o *ISmod* igual a 44,9%.

Figura 9 - Comportamento do *ISmod* ao longo das regras testadas no Cenário 1

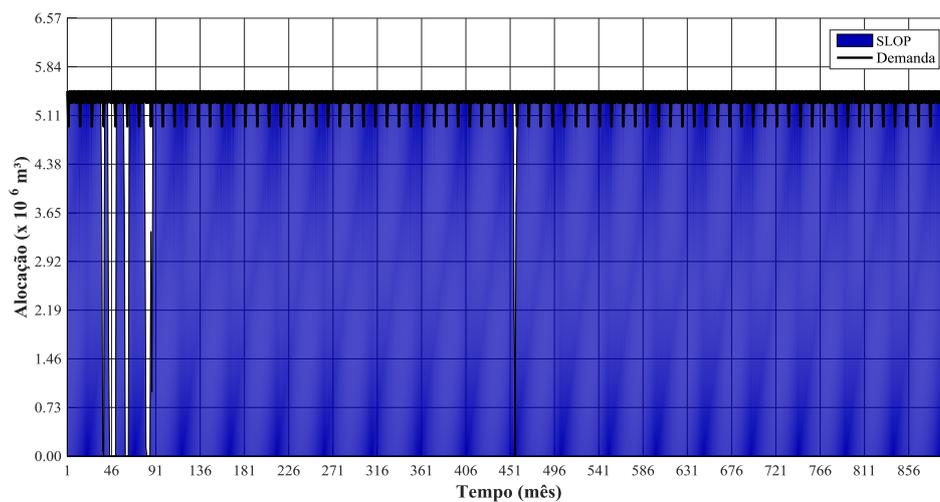


Fonte: Autor.

6.1.1 Alocação

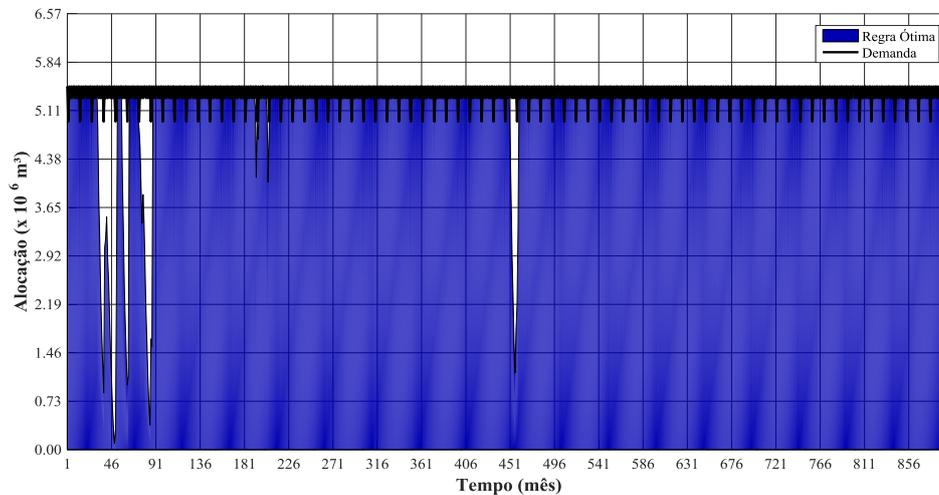
As Figuras 10 e 11 trazem, sequencialmente, gráficos que contém as alocações nos meses simulados através da SLOP e por intermédio da regra proposta. Ficando nítido a redução dos tamanhos das falhas nas imagens.

Figura 10 - Alocação Cenário 1 através da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 11 - Alocação Cenário 1 através da Regra Otimizada



Fonte: Autor.

Neste tocante, o Quadro 8 traz informações que subsidiam a análise comparativa entre o SLOP e a regra proposta otimizada com base no *ISmod*.

Quadro 8 - Comparação SLOP e a regra otimizada - Cenário 1

Regra de Operação	Nº de falhas	Vazão média fornecida (l/s)	Vazão fornecida/vazão demandada (%)	Volume médio mensal dos déficits (m ³)	Conf	Res	Vul máx média	<i>ISmod</i>
SLOP	5	1.992	97,42	138.608	97,0%	18,5%	98,0%	15,3%
Regra Otimizada	9	1.977	96,67	178.968	93,3%	15,0%	35,2%	44,9%

Fonte: Autor.

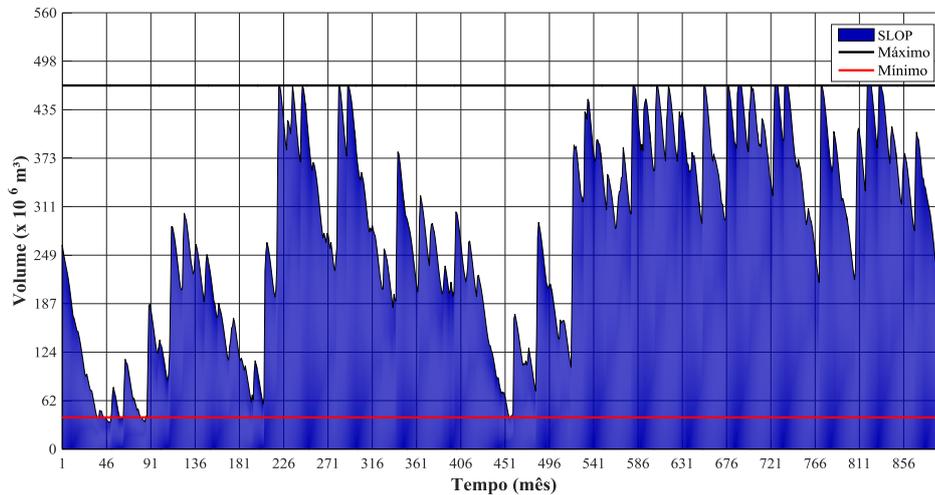
Deste modo, se considerarmos a vazão média fornecida, uma redução de apenas 15 l/s, o que representa 0,73% da demanda média do reservatório, obtemos uma pequena queda na confiabilidade e resiliência, todavia, praticamente se triplica o *ISmod* resultante.

6.1.2 Comportamento do Volume

A seguir, estão apresentadas as representações gráficas do comportamento do volume. A Figura 12 expõe o comportamento do volume do reservatório durante os

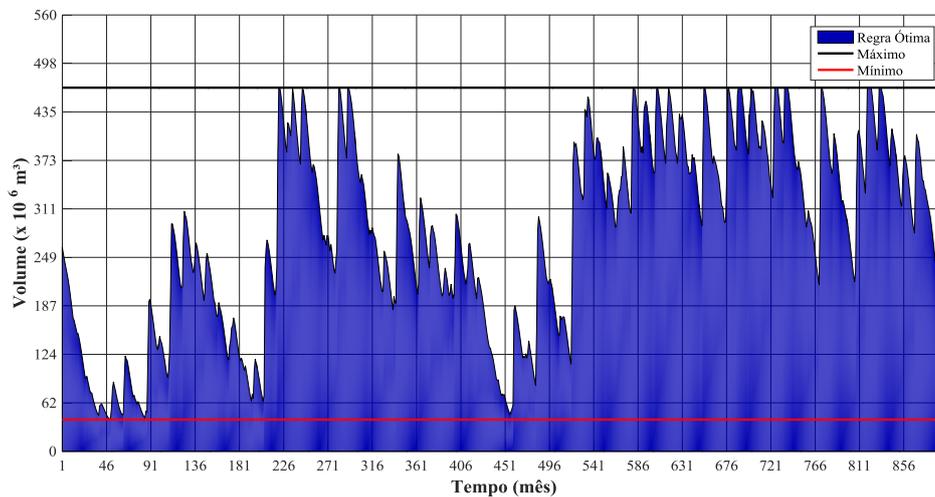
900 meses simulados por meio da regra de operação padrão, enquanto a Figura 13 demonstra o comportamento do volume utilizando a regra de operação proposta.

Figura 12 - Comportamento do volume no Cenário 1 aplicando o SLOP



Fonte: Autor.

Figura 13 - Comportamento do volume Cenário 1 através da regra otimizada

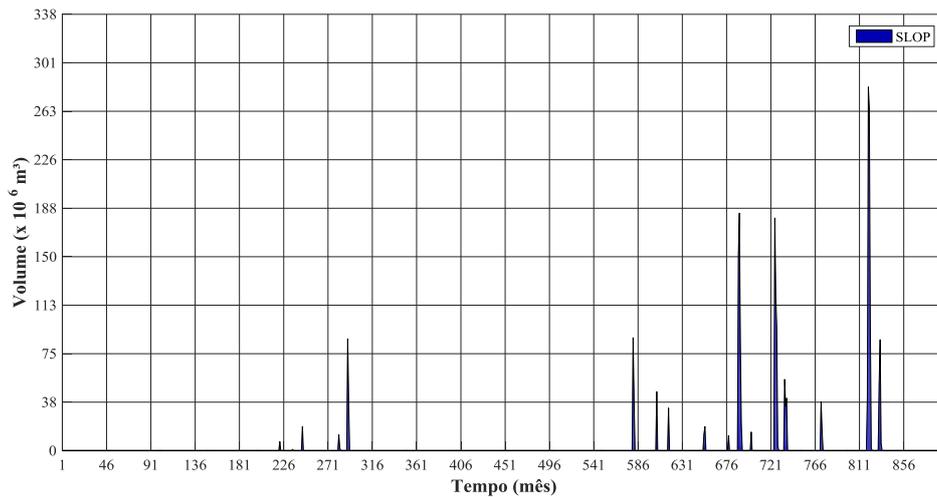


Fonte: Autor.

Apesar de considerável melhora na sustentabilidade da operação do reservatório nos termos propostos, com expressiva redução do tamanho dos picos das falhas observadas, não há grandes alterações no comportamento do volume observado.

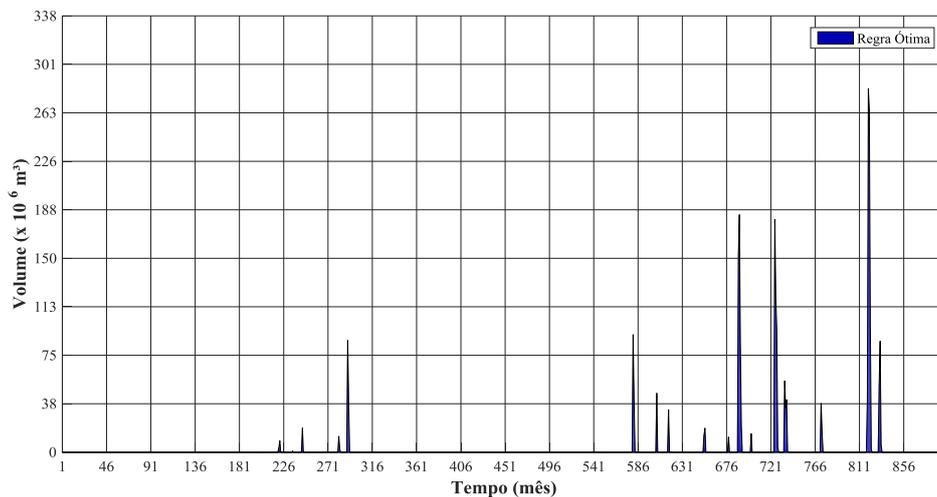
As Figuras 14 e 15 trazem, respectivamente, os meses e os volumes vertidos para a SLOP e para a regra otimizada. Não houve diferença considerável nos volumes e na taxa de vertimento nas duas operações destacadas.

Figura 14 - Comportamento do vertimento no Cenário 1 através da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 15- Comportamento do vertimento no Cenário 1 através da Regra otimizada



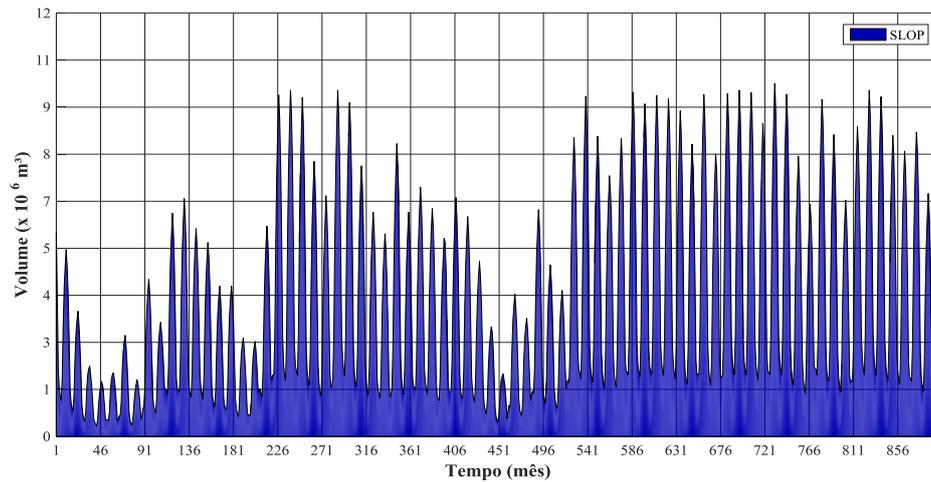
Fonte: Autor.

6.1.3 Lâmina Perdida para Atmosférica

As Figuras 16 e 17 expõem os resultados gráficos dos volumes hídricos que foram perdidos para a atmosfera, isto é, o comportamento da lâmina evaporada menos a lâmina precipitada, através do SLOP e da regra otimizada, respectivamente. O

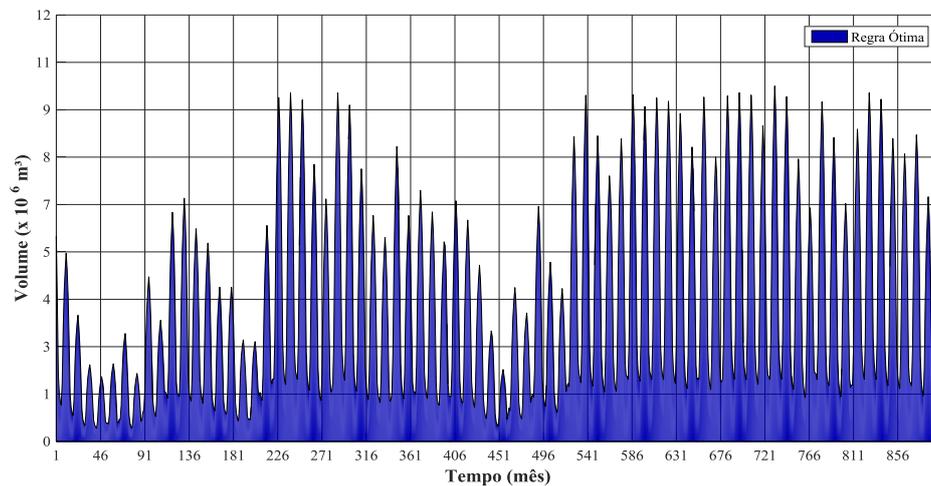
comportamento de ambas foi similar, destacando-se uma perda média, no Cenário 1, de aproximadamente $1,46 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor representa 73% do alocado para atendimento das demandas.

Figura 16 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 1 da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 17 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 1 da regra otimizada



Fonte: Autor.

6.2 Cenário 2

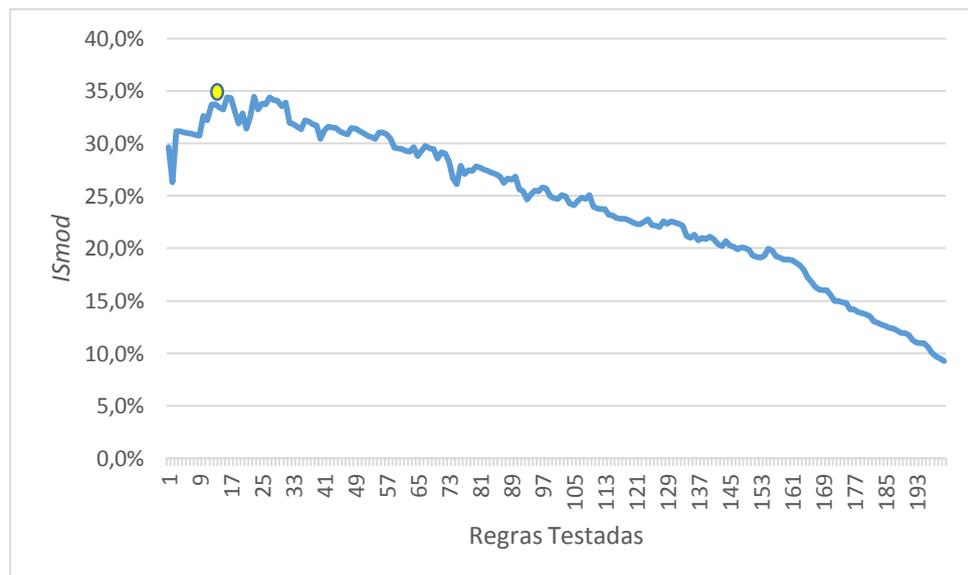
O cenário proposto considera uma vazão de demanda para o reservatório de $3,0675 \text{ m}^3/\text{s}$ na simulação, que representa 150% da vazão de demanda determinado pela ANA (2017). Dentre as 200 simulações realizadas, determinou-se a regra “ótima”

de operação. A regra mais sustentável foi a Regra #23. Nesses termos, o reservatório entraria em falha quando atingisse 20,94% do seu volume disponível e o decaimento da vazão alocada respeitaria uma reta de coeficiente angular de 0,141.

O parâmetro de sustentabilidade mais influente no *ISmod* foi, novamente, a vulnerabilidade máxima média, que passou de 75,8% na SLOP para 40,6% na regra otimizada. Ou seja, ocorreu uma redução média de quase metade do pico das falhas observadas. A confiabilidade passou de 86,6% com a SLOP para 77,4% com a regra otimizada e a resiliência foi de 12,4% para 8,9% se compararmos a SLOP para regra otimizada.

A Figura 18 traz o comportamento do *ISmod* ao longo das regras testadas. A Regra #1 (SLOP) apresentou *ISmod* de 29,6% e o ponto “ótimo” (Regra #23) teve o *ISmod* de 34,4%.

Figura 18 - Comportamento do *ISmod* ao longo das regras testadas no Cenário 2

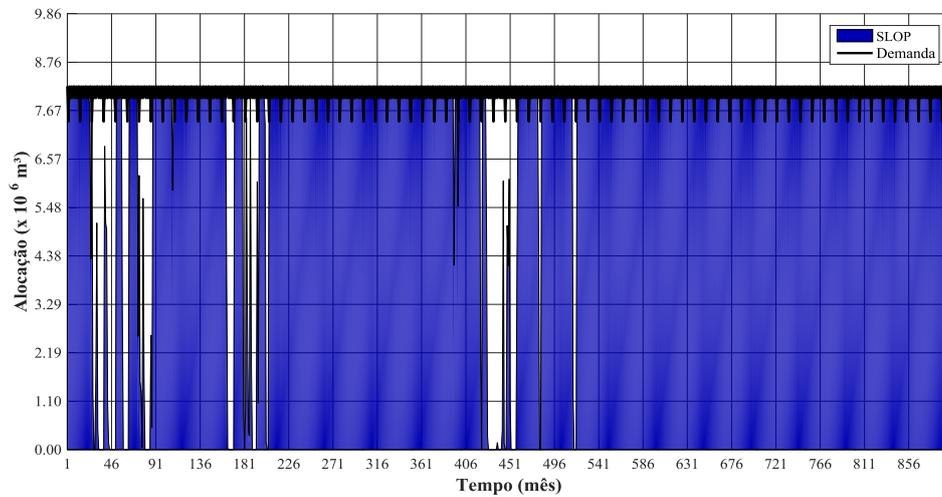


Fonte: Autor.

6.2.1 Alocação

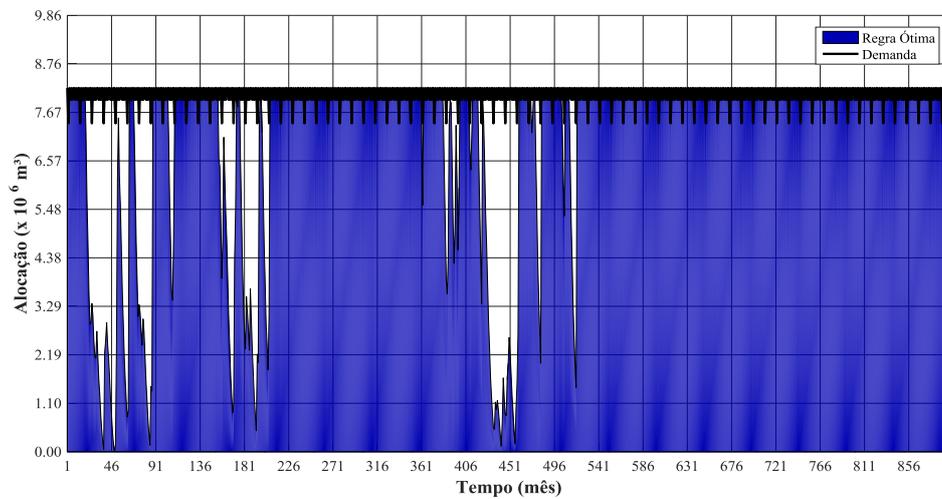
As Figuras 19 e 20 trazem, em sequência, gráficos que contém as alocações nos meses simulados através da SLOP e por meio da regra proposta. Nestes também se destacam, como no cenário anterior, a redução volumétrica dos picos das falhas, resultando em menor estresse hídrico para o sistema.

Figura 19 - Alocação Cenário 2 através da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 20- Alocação Cenário 2 através da Regra Otimizada



Fonte: Autor.

No contexto da alocação, o Quadro 9 descreve informações que subsidiam a análise comparativa entre o SLOP e a regra proposta otimizada com base no *ISmod*.

Quadro 9- Comparação SLOP e regra otimizada - Cenário 2

Regra de Operação	Nº de falhas	Vazão média fornecidas (l/s)	Vazão fornecida/vazão demandada (%)	Volume médio mensal dos déficits (m ³)	Conf	Res	Vul máx média	ISmod
SLOP	15	2,73	88,8	900,923	86,6%	12,4%	75,8%	29,6%
Regra Otimizada	18	2,68	87,7	1.013.052	77,4%	8,9%	40,6%	34,4%

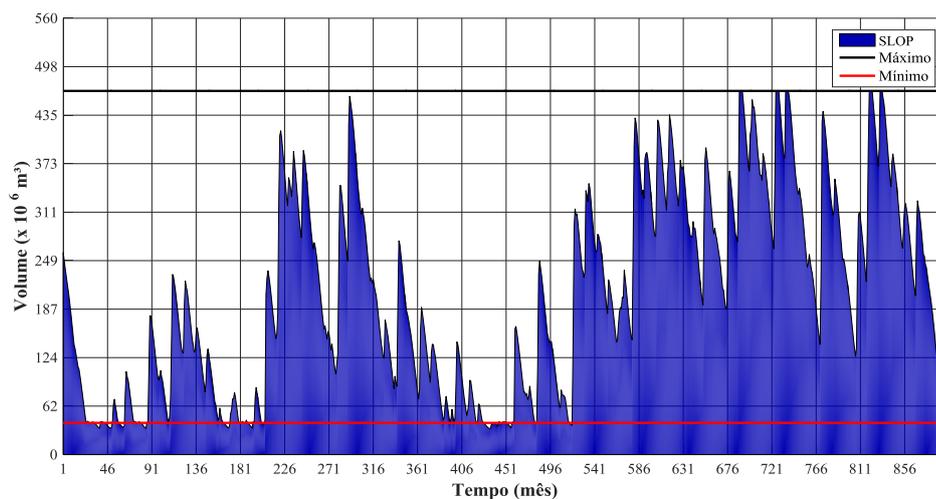
Fonte: Autor.

Considerando o cenário em comento, mesmo na SLOP, o sistema oferece uma garantia no fornecimento abaixo dos 90% e se observa que a melhora do *ISmod* não é tão relevante como no Cenário 1.

6.2.2 Comportamento do Volume

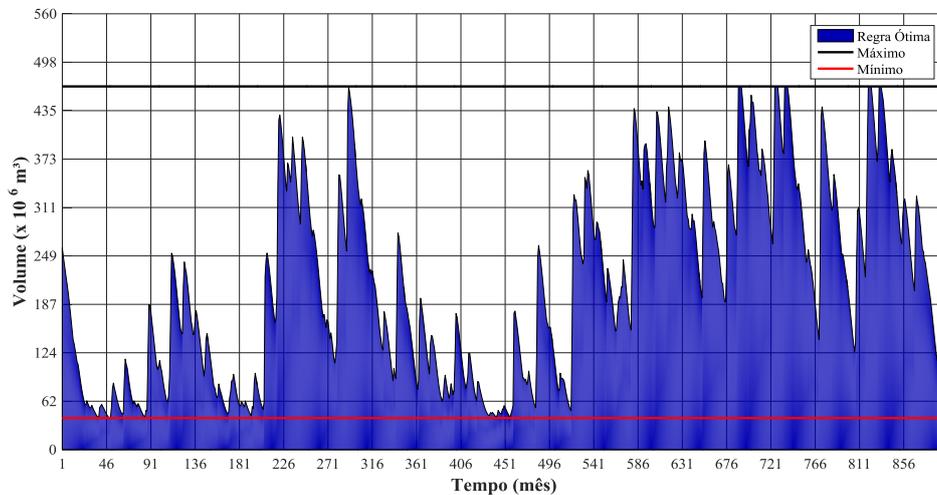
A Figura 21 expõe o comportamento do volume do reservatório durante os 900 meses simulados por meio da regra da política de operação linear padrão, enquanto a Figura 22 demonstra o comportamento do volume utilizando a regra de operação proposta.

Figura 21 - Comportamento do volume no Cenário 2 aplicando o SLOP



Fonte: Autor.

Figura 22 - Comportamento do volume Cenário 2 através da regra otimizada

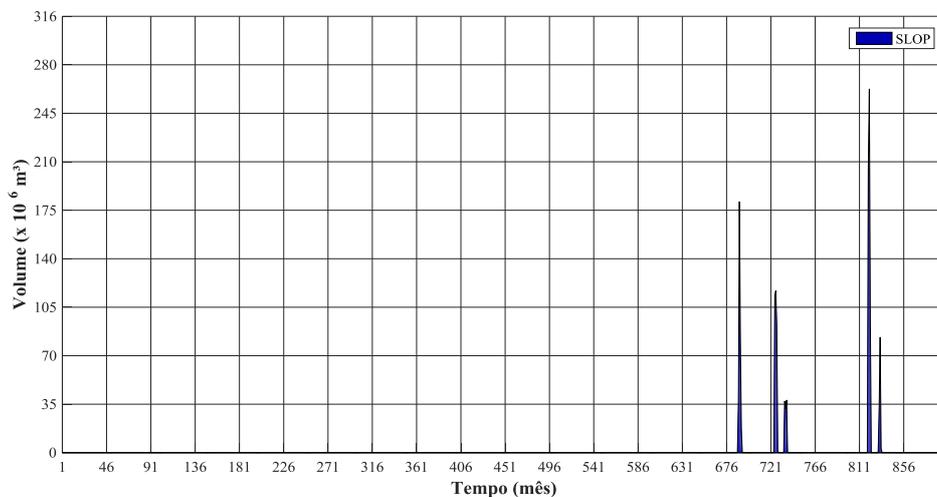


Fonte: Autor.

Apesar do comportamento semelhante, se observado detalhadamente, principalmente a linha que determina o volume mínimo do reservatório, é possível perceber que quando utilizado o SLOP o decaimento do nível do reservatório é maior.

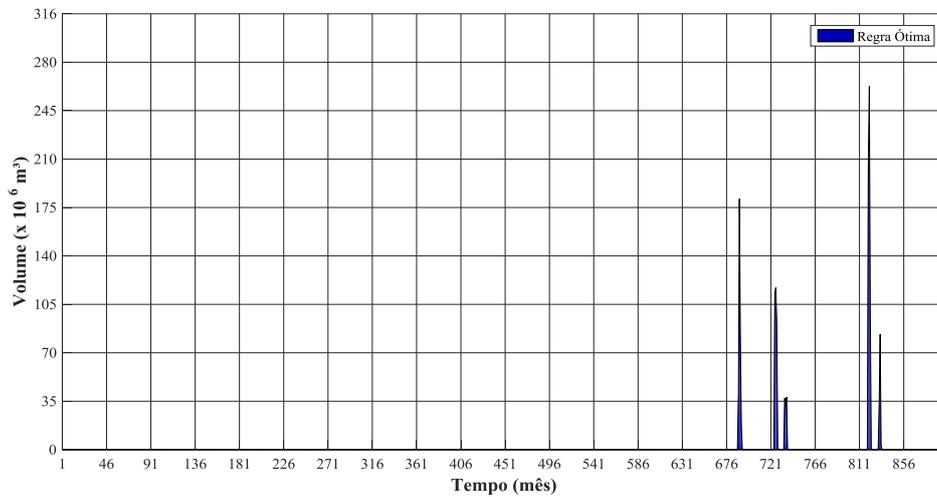
As Figuras 23 e 24 mostram, respectivamente, os meses e os volumes vertidos para o SLOP e para a regra otimizada. Estas apresentam comportamento muito semelhante, com diferenças praticamente imperceptíveis.

Figura 23 - Comportamento do vertimento no Cenário 2 através da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 24 - Comportamento do vertimento no Cenário 2 através da Regra otimizada

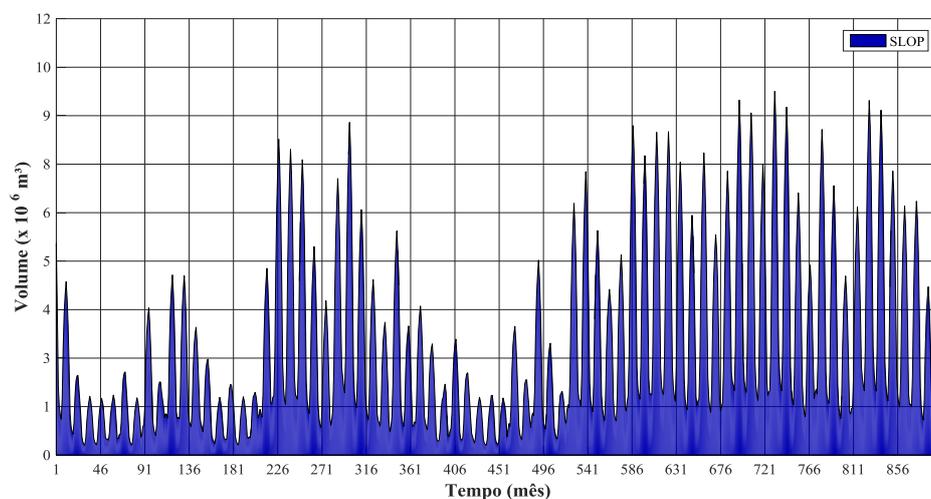


Fonte: Autor.

6.2.3 Lâmina Perdida para Atmosférica

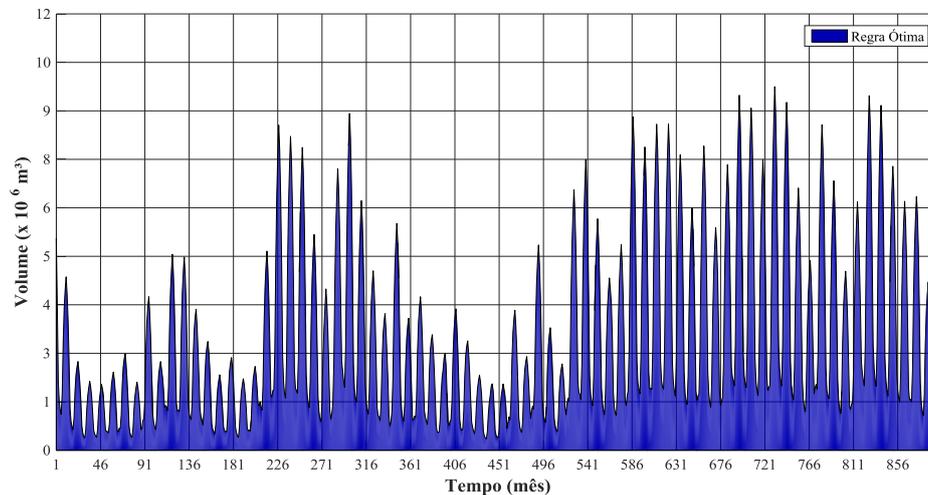
As Figuras 25 e 26 representam os resultados gráficos dos volumes hídricos que foram perdidos para a atmosfera através do SLOP e através da regra proposta, nesta ordem. O comportamento segue o comportamento similar, no entanto, demonstra queda na vazão média perdida para atmosfera, quando considerado o valor do Cenário 1. No Cenário 2, a perda para atmosfera foi de 1,17 m³/s.

Figura 25 - Comportamento da lâmina perdida para atmosfera Cenário 2 da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 26 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 2 da regra otimizada



Fonte: Autor.

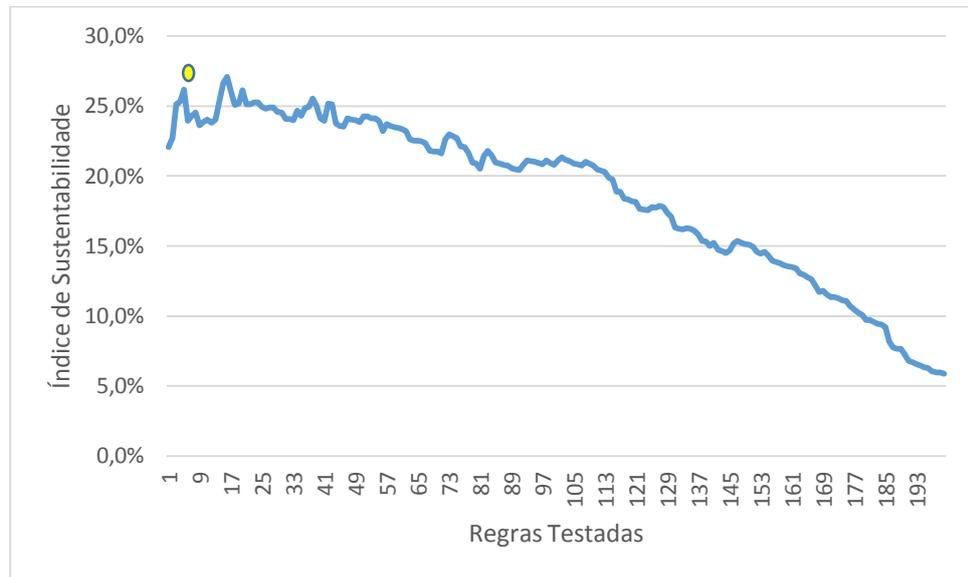
6.3 Cenário 3

O cenário proposto considera uma vazão de demanda para o reservatório de 4,09 m³/s na simulação, que representa o dobro da vazão de demanda determinada pela ANA (2017). Dentre as 200 simulações realizadas, a Regra #16 foi a mais sustentável nos termos propostos. Assim, o reservatório estaria em falha quando atingisse 18,33% do seu volume disponível e o decaimento da vazão alocada respeitaria uma reta de coeficiente angular de 0,240.

O parâmetro de sustentabilidade mais relevante no IS foi, mais uma vez, a vulnerabilidade máxima média, que passou de 89,6% na SLOP para 65,9%. Todavia, dessa vez, houve uma influência ainda menor que nos cenários anteriores. A confiabilidade passou de 73,9% com a SLOP para 64,4% e a resiliência foi de 14% para 9,1% se compararmos a SLOP para regra otimizada.

A Figura 27 representa o comportamento do *ISmod* ao longo das regras testadas. A Regra #1 (SLOP) apresentou *ISmod* de 22,1% e a Regra #16 apresentou o ponto ótimo com *ISmod* de 27,1%, a menor diferença dos cenários analisados.

Figura 27 - Comportamento do IS ao longo das regras testadas no Cenário 3

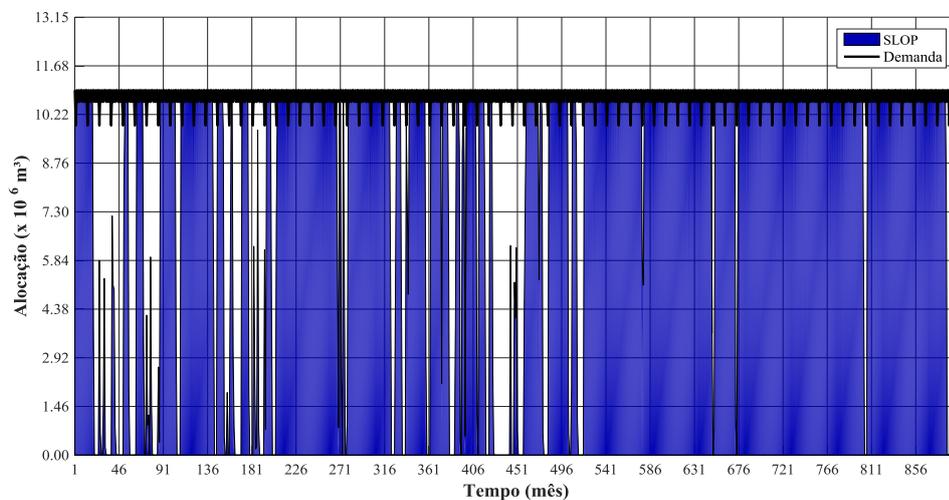


Fonte: Autor

6.3.1 Alocação

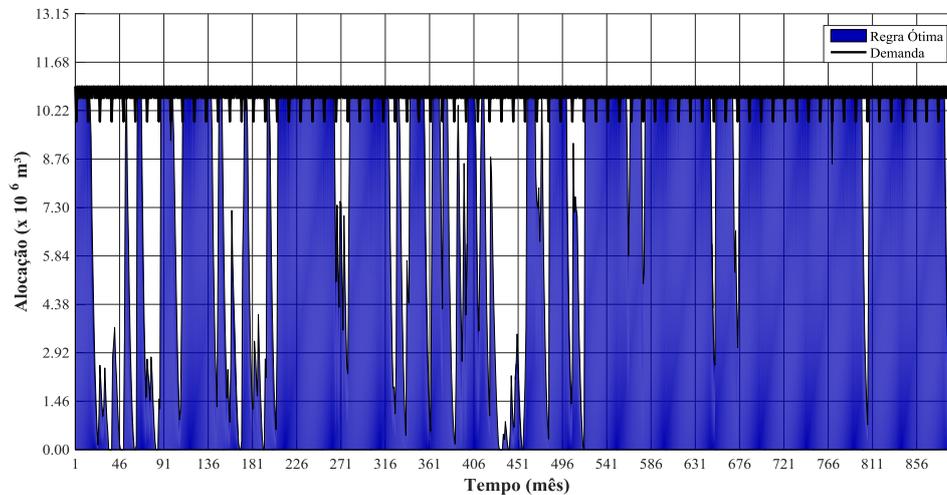
As Figuras 28 e 29 trazem, sequencialmente, gráficos que contêm as alocações nos meses simulados através da SLOP e por intermédio da regra proposta. Como os demais cenários, também fica visível a redução dos picos das falhas se compararmos os gráficos, todavia, o tamanho e a constância dessas, evidenciam o distanciamento desse cenário com aquele real.

Figura 28 - Alocação Cenário 3 através da SLOP



Fonte: Autor

Figura 29 - Alocação Cenário 3 através da Regra Otimizada



Fonte: Autor

Neste tocante, o Quadro 10 traz informações que subsidiam nossa análise comparativa entre o SLOP e a regra proposta otimizada com base no *ISmod*.

Quadro 10 - Comparação SLOP e regra otimizada - Cenário 3

Regra de Operação	Nº de falhas	Vazão média fornecidas (l/s)	Vazão fornecida/vazão demandada (%)	Volume médio mensal dos déficits (m ³)	Conf	Res	Vul máx média	<i>ISmod</i>
SLOP	33	3,19	78,0	2.021.735	73,9%	14,0%	89,6%	22,1%
Regra Otimizada	29	3,14	76,7	2.136.417	64,4%	9,1%	65,9%	27,1%

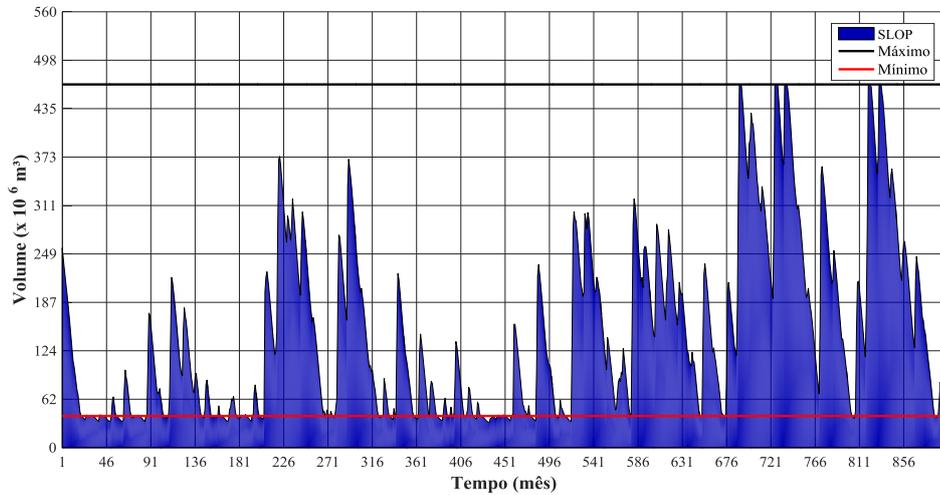
Fonte: Autor

Pequenas garantias de fornecimento, grandes déficits, muitas falhas e baixa sustentabilidade em ambas operações, evidenciam que se trata de um cenário longe da realidade.

6.3.2 Comportamento do Volume

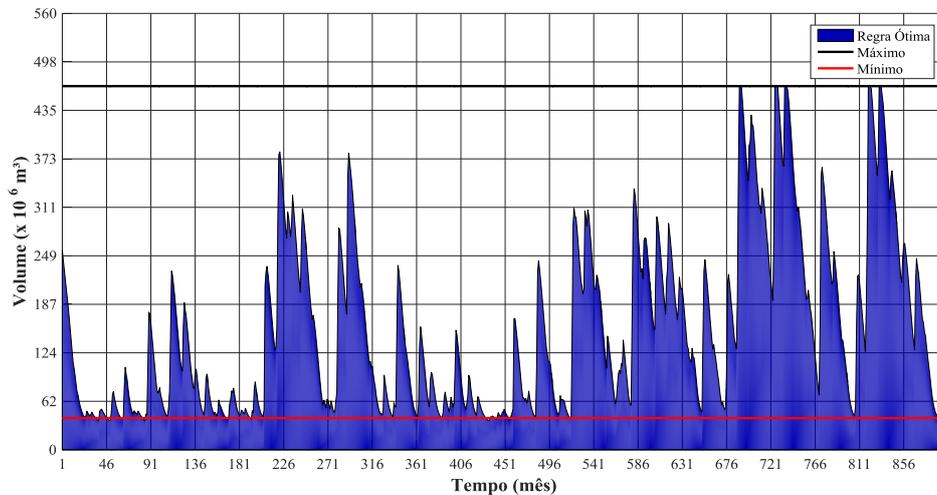
A Figura 30 expõe o comportamento do volume por meio da regra de operação padrão, enquanto a Figura 31 demonstra o comportamento do volume utilizando a regra de operação proposta.

Figura 30 - Comportamento do volume no Cenário 3 aplicando o SLOP



Fonte: autor

Figura 31 - Comportamento do volume Cenário 3 através da regra otimizada

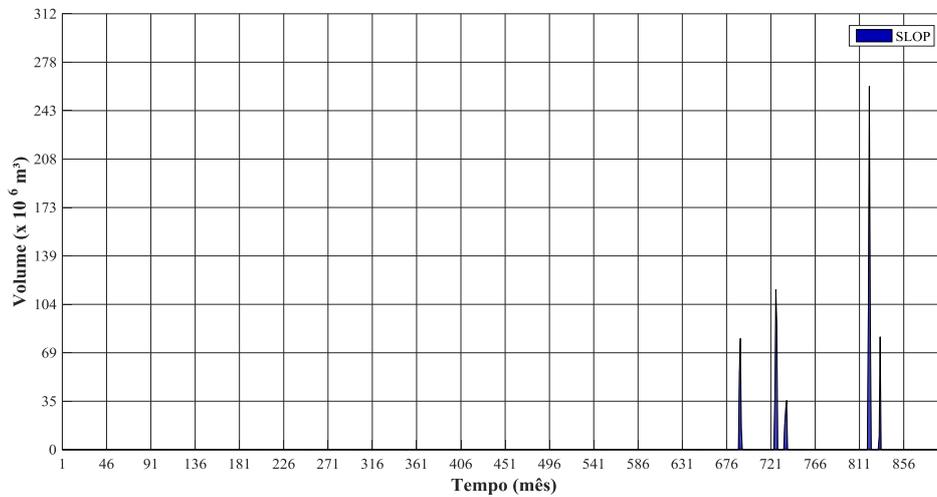


Fonte: autor

Os dados mostram um volume médio de 33,1% quando se utiliza a regra otimizada, valor longe do observado nos dados históricos.

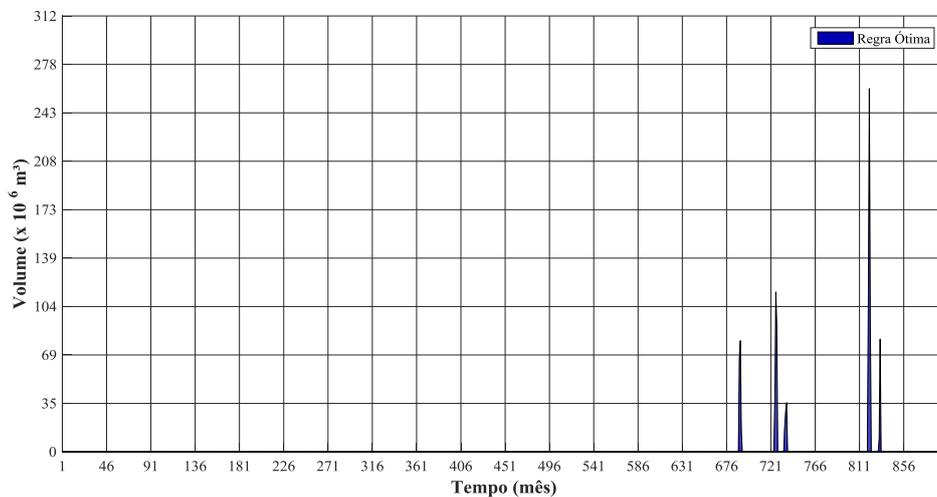
As Figuras 32 e 33 trazem, respectivamente, os meses e os volumes vertidos para o SLOP e para a regra otimizada. Essa última produziu apenas 15 eventos de vertimento nos 900 meses estudados.

Figura 32- Comportamento do vertimento no Cenário 3 através da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 33 - Comportamento do vertimento no Cenário 3 através da Regra otimizada



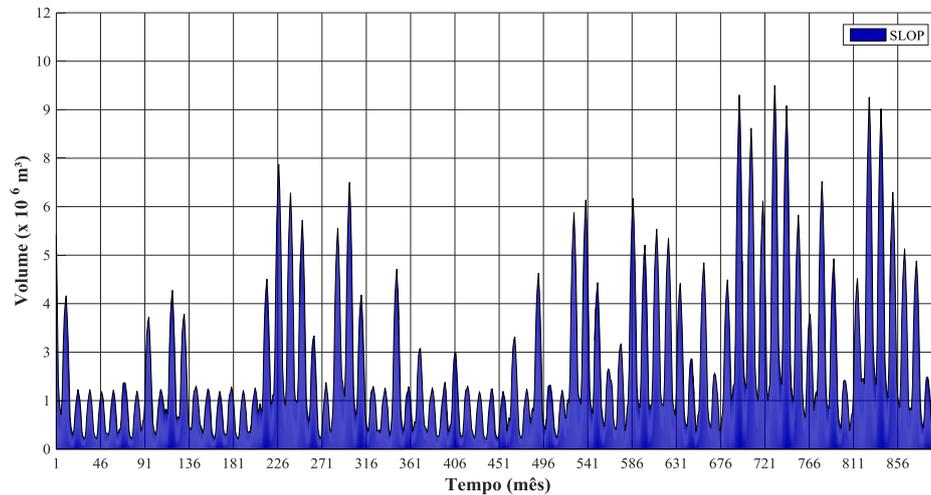
Fonte: Autor.

6.3.3 Lâmina Perdida para Atmosférica

As Figuras 34 e 35 trazem os resultados gráficos dos volumes hídricos que foram perdidos para a atmosfera, através do SLOP e da regra proposta, respectivamente. Seguindo a tendência, o reduzido volume médio do reservatório,

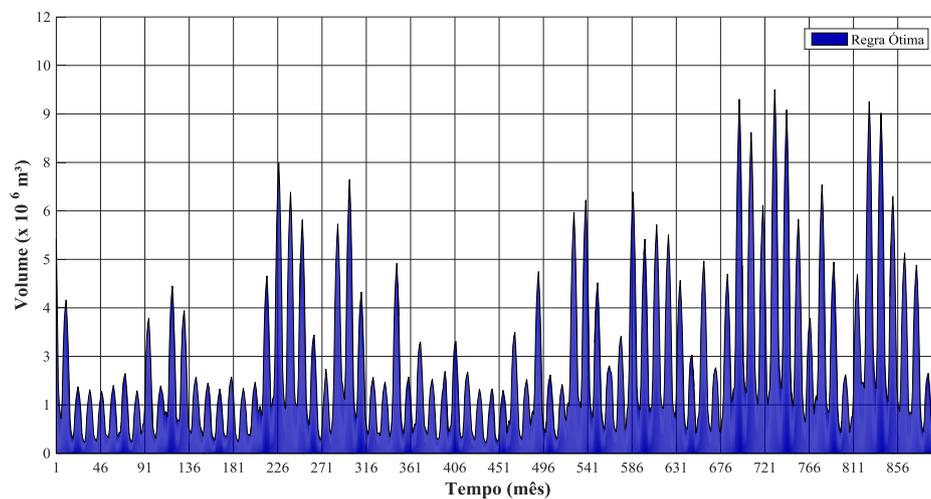
nesse cenário, proporcionou as menores perdas para atmosfera nos cenários estudados.

Figura 34 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 3 da SLOP



Fonte: Autor.

Figura 35 - Comportamento da Lâmina perdida para atmosfera Cenário 3 da regra otimizada



Fonte: Autor.

6.4 Análise Comparativa

Na fase de coleta de dados, se obteve junto a AESA (2019) dados reais de 354 meses do volume do reservatório objeto. Apesar da falta de alguns detalhes

específicos, o que impossibilitou a aplicação desses dados (ANEXO 1) na modelagem das simulações, essas informações foram extraídas, formando-se os parâmetros comparativos descritos no Quadro 11.

Quadro 11 - Relações entre o cenário real e as regras otimizadas

Parâmetros	Cenário real	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Volume médio	58,50%	60,00%	46,10%	33,50%
Taxa de vertimento	4,24%	4,22%	1,89%	1,67%

Fonte: Autor.

Cabe frisar a grande equivalência nos parâmetros de comparação descritos entre o cenário real e o Cenário 1. Já os Cenários 2 e 3 trazem números que se distanciam do real.

No que concerne ao estágio inicial da crise hídrica que teve início em 2012, Rêgo et al. (2014) denunciam a diferença da vazão outorgada em detrimento da vazão retirada. Essa última, no ano de 2012, segundo os autores, teve média de 2,41 m³/s.

Lucena (2018), por meio de simulações com uma demanda regularizada da ordem de 1,23 m³/s – definidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba de 2007 – também observou que a retirada real deveria ser de aproximadamente 2,45 m³/s.

De tal modo, as variações nas demandas do reservatório que são observadas em outros estudos dificultam o planejamento dos recursos nele armazenados. Nesta perspectiva, Nunes (2015) constata que as crises hídricas seriam evitadas caso fossem respeitadas as vazões outorgadas. Corroborando, Toscano (2018), a partir da avaliação da gestão do reservatório em questão, define a complexa gestão conjunta entre ANA e AESA como ineficaz.

Os cenários estudados expõem as limitações do reservatório Epitácio Pessoa para atender de forma sustentável às atuais demandas, conforme observado no Cenário 1. Os demais cenários demonstram que os recursos hídricos disponíveis restringem qualquer acréscimo de demanda, implicando em dificuldades para o desenvolvimento local.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Duzentas regras — elaboradas com base na Política Linear de Operação Padrão (SLOP) — foram propostas e avaliadas para operação mensal do reservatório Epitácio Pessoa, considerando três distintos cenários de demanda hídrica.

Ao aplicar o modelo de simulação-otimização proposto, visando maximizar um índice de sustentabilidade, foi possível obter regras mais sustentáveis e tão práticas quanto a Política de Operação Linear Padrão. No cenário de demanda estimada pela ANA (Cenário 1), verificou-se que a regra otimizada foi três vezes mais sustentável do que a regra padrão. Nos demais cenários essa diferença foi menor, com melhorias mais sensíveis do índice de sustentabilidade.

Observou-se que as regras otimizadas, em todos os cenários, apesar de apresentarem pequenas modificações em relação à estrutura do modelo SLOP, produziram resultados similares em termos de confiabilidade e resiliência. Ademais, demonstraram-se significativamente superiores no que diz respeito à vulnerabilidade máxima média, tornando esta última mais influente no cálculo do índice de sustentabilidade avaliado.

Verificou-se, ainda, que houve substancial equivalência do comportamento do reservatório considerando o cenário real e o cenário de demanda estimada pela ANA (Cenário 1). Essas equivalências fornecem grande confiabilidade das fontes e da metodologia utilizadas nesse trabalho.

Isto posto, entende-se as limitações do estudo em propor apenas uma curva para operação da barragem. É sabido que na realidade as demandas se comportam de maneira irregular, principalmente a demanda para irrigação. Cabe, portanto, propor a realização de estudos utilizando cenários com vazões transpostas do Rio São Francisco, computando as vazões liberadas à jusante, bem como a implementação de métodos de redução da evaporação.

Devido à grande importância estratégica do reservatório e a alta viabilidade e confiabilidade da aplicação do modelo de operação alternativo que foi apresentado nesse trabalho, espera-se que o mesmo se torne um importante subsídio de futuros

estudos técnicos e acadêmicos que possam avançar na temática, bem como contribuir para governança das águas do Epiácio Pessoa.

REFERÊNCIAS

- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA E DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Curva cota, área e volume atualizada.** (Comunicação Pessoal). João Pessoa, 2019.
- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA E DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Dados de volume mensal do Epitácio Pessoa – janeiro de 1990 a junho de 2019.** (Comunicação Pessoal). João Pessoa, 2019.
- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA, 2019. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/rio-paraiba/>. Acesso em 20/01/2020.
- ALLAWI, M. F.; JAAFAR, O.; HAMZAH, F. M.; EL-SHAFIE, A. **Novel reservoir system simulation procedure for gap minimization between water supply and demand.** Journal of Cleaner Production, v. 206, p. 928-943, 2018.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Quantidade de Água, 2020 A.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 03/01/2020.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Quantidade de Água, 2020 B.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/videos/a-lei-das-aguas-do-brasil>. Acesso em: 03/01/2020.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação.** Anexo A. Brasília, 2017.
- BRASIL. (1997). **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: 109º da República. Diário Oficial [da] União, 09 de janeiro de 1997.
- CARNEIRO, T. C.; FARIAS, C. A. S. **Otimização Estocástica Implícita e Redes Neurais Artificiais para Auxílio na Operação Mensal dos Reservatórios Coremas - Mãe d'Água.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18 n.4, p. 115-124, 2013.
- CARVALHO, R. G. **As Bacias Hidrográficas Enquanto Unidades de Planejamento e Zoneamento Ambiental no Brasil.** Caderno Prudentino de Geografia, n.36, p. 26-43, 2014.
- CELESTE, A. B., CURI, W. F., CURI, R. C. **Análise de Métodos para Geração Sintética de Vazões em rios intermitentes.** Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1-18. São Paulo, 2007.
- CELESTE, A. B.; SUZUKI, K.; SANTOS, V. da S. **Análise de Indicadores de Sustentabilidade para reservatórios operados por regras derivadas de otimização estocástica implícita.** In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.
- DESSU, S. B.; MELESSE, A. M.; BHAT, M. G.; PRICE, R. M.; SEID, A. H.; DEBEBE, S. A.; MCCLAIN, M. E. **Development and application of a priority rated**

optimization model (PROM) for multi-sector water resource management systems. Environmental Modelling & Software, v. 113, p. 84-97, 2019.

DNOCS – DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA A SECA. **Barragem Boqueirão.** Disponível em: <https://www.dnocs.gov.br/barragens/boqueirao/boqueirao.htm> Acesso em: 20/01/2020.

DOS SANTOS, F. E. F. **Aplicação de Modelos Matemáticos para Transformação de Chuva em Vazão.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, 2017.

FARIAS, C. A. S. **Derivation of hedging rules and forecasts by artificial neural networks for optimal real-time management of an integrated water resources system.** Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia) - Ehime University, Matsuyama – Japão, 2009a.

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.** Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009b.

FARIAS, J. A. M. **Métodos de geração de vazões mensais e suas influências sobre a curva de garantia versus vazão regularizada em reservatórios do estado do Ceará.** Dissertação de mestrado (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

FENG, M.; LIU, P.; GUO, S.; YU, D. J.; CHENG, L.; YANG, G.; XIE, A. **Adapting reservoir operations to the nexus across water supply, power generation, and environment systems: An explanatory tool for policy makers.** Journal of Hydrology, v. 574, p. 257-275, 2019.

GUO, Y.; SHEN, Y. **Agricultural water supply/demand changes under projected future climate change in the arid region of northwestern China.** Journal of Hydrology, v. 540, p. 257-273, 2016.

GUPTA, R.; KUMAR, G. **Scenario planning for water resource management in semi-arid zone.** Physics and Chemistry of the Earth, v. 105, p. 290-299, 2018.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. **Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation.** Water Resources Research. [S.L.], v. 18, n. 1, p. 14-20, 1982.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa populacional 2019.** Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama> > Acesso em 31/01/2020.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Groups II to the Fifth Assessment Report of the IPCC.** IPCC, Geneva, 2014.

JACOBI, P.R.; CIBIM, J.; LEÃO, R.S. **Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil.** Estudos Avançados. v. 29, n. 86, 2015.

- LANNA, A.E; SCHWARZBACH, M. **MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-Calibrável**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Publicação 21, Porto Alegre, 1989.
- LI, L.; LIU, P.; RHEINHEIMER, D. E.; DENG, C.; ZHOU, Y. **Identifying explicit formulation of operating rules for multi-reservoir systems using genetic programming**. *Water Resources Management*, v. 28 n. 6, p. 1545–1565, 2014.
- LUCENA, D. P. M. M. **Simulações da implantação de ações de gestão no Açude Epitácio Pessoa e seus impactos na crise hídrica em Campina Grande – PB e região**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
- LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R.; HAITH, D. A. **Water Resources Systems Planning and Analysis**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 1981.
- LOUCKS, D. P. **Quantifying trends in system sustainability**. *Hydrological Sciences Journal*, 42:4, 513-530. New York, 1997.
- MONTAÑO, M.; SOUZA, M. P. **Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: a disponibilidade hídrica como critério para a localização de empreendimentos**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 21, n. 3, 2016.
- MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; LARA, M. dos S. **Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: proposição metodológica e estudo de caso**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 3, p. 7-15, 2012.
- NUNES, T. H. C. **A gestão do reservatório Epitácio Pessoa e regras de operação otimizadas**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.
- NUNES, T. H. C; GALVÃO, C. O.; RÊGO, J. C. **Rule curve for seasonal increasing of water concessions in reservoirs with low regularized**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 493-501, 2016.
- KAHIL, M. T.; DINAR, A.; ALBIAC, J. **Cooperative water management and ecosystem protection under scarcity and drought in arid and semiarid regions**. *Water Resources and Economics*, v. 13, p. 60-74, 2016.
- PAIXÃO, M. P.; STUDART, T. M. de C.; CAMPOS, J. N. B.C.; CARVALHO, R. M. de. **Aplicação de indicadores de performance na avaliação de sistemas hídricos: um estudo de caso**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.
- OLIVEIRA, K. F. de; RIBEIRO, M. M. R. **Análise de uma medida de gestão da demanda nas crises de abastecimento em Campina Grande**. Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luis-MA. 2004.
- RÊGO, J. C; GALVÃO C. O; RIBEIRO, M. M. R; ALBURQUERQUE, J. P. T; NUNES, T. H. C. **Novas Considerações sobre a Gestão dos Recursos Hídricos do Açude Epitácio Pessoa – A Seca de 2012-2014** In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, 2014.
- RIBEIRO, L. G. G., ROLIM, N. D. **Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce como direito fundamental e sua valoração mercadológica**. *Revista Direito Ambiental e sociedade*, v. 7, n. 1, p. 7-33, 2017.

- SANTOS, V. da S. **Modelo de Otimização Quali-Quantitativo Multiobjetivo para Planejamento dos Recursos Hídricos Superficiais, com aplicação à Bacia do Rio Paraíba**. 2011. 170 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.
- SANTOS, S. M. dos.; FARIAS, M. M. M. W. E. C. de. **Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil**. Journal of Cleaner Production, v. 164, p. 1007-1015, 2017.
- SANTOS, J.A. **Caracterização socioeconômica dos municípios da bacia do alto curso do Rio Paraíba - PB**. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido), Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, Campina Grande, 2014.
- SARMENTO, F. F. **Mudanças climáticas: Impactos sociais, econômicos e ambientais no semi-árido brasileiro**. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007.
- SEABRA, V. S.; XAVIER, R. A.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. S. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo da Bacia do Rio Taperoá: Região Semiárida do Estado da Paraíba**. Caminhos da Geografia, v.15, n.10, 2014.
- SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C. **Índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, Estado de Minas Gerais**. Revista Ambiente & Água, v. 10, n. 3, 2015.
- SILVA, N.B.R; AZEVEDO, P.V; ALVES, T.L.B. **Análise da degradação ambiental no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. Bol. Goia. Geogr. (Online), v. 34, n. 1, p. 35-53, 2014.
- SILVA FILHO, J. A; FARIAS, C. A. S; ARAUJO, S. C; BEZERRA, U. A. **Utilização do método dos fragmentos para geração sintética de vazões: um estudo de caso do semiárido paraibano**. In: XII Congresso Nacional de Meio Ambiente, Poço de Caldas, 2015.
- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido. Planejamento Regional**, 2017. Disponível em <<https://www.sudene.gov.br>>. Acesso em: 03/01/2020.
- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Rede Hidroclimatológica do Nordeste**. Disponível em < <http://www.sudene.gov.br/area-de-atuacao/regiao-nordeste-estatisticas/rede-hidroclimatologica-do-nordeste>>. Acesso em: 30/04/2020.
- TOSCANO, A. A. O. **Gestão de Recursos Hídricos da Paraíba: O caso do Açude Epitácio Pessoa (O Boqueirão)**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Direito Ambiental), Universidade Católica de Santos, São Paulo, 2015.
- TRINDADE, L.L; SCHEIBE, L.F. **Gestão das águas: limitações e contribuições na atuação dos comitês de bacias hidrográficas brasileiros**. Revista Ambiente & Sociedade, v. 22, 2019.

TUFFANI, M. **Um alerta de 1977 para a crise da água**. Disponível em: <<http://mauriciotuffani.blogfolha.uol.com.br/2014/11/13/um-alerta-de-1977-para-a-crise-da-agua>>. Acesso em: 13/11/2019.

YANG, Y.; BAI, L.; WANG, B.; WU, J.; FU, S. **Reliability of the global climate models during 1961–1999 in arid and semiarid regions of China**. Science of The Total Environment, v. 667, p. 271-286, 2019.

ZHANG, J.; LIU, P.; WANG, H.; LEI, X.; ZHOU, Y. **A Bayesian model averaging method for the derivation of reservoir operating rules**. Journal of Hydrology, v. 528, p. 276-285, 2015.

**APÊNDICE A – COMPORTAMENTO MENSAL DO VOLUME DO RESERVATÓRIO
EPITÁCIO PESSOA**

Açude	Data da primeira cota	Cota Inicial	Volume Inicial (m³)	Data última cota	Cota Final	Volume Final (m³)	Aporte (m³)	Volume Final (%)
Epitácio Pessoa	01/01/1990	377,71	523727046	31/01/1990	377,42	518394190	-5332856	96,8
Epitácio Pessoa	01/02/1990	377,41	518210298	28/02/1990	377,56	520968672	2758374	97,3
Epitácio Pessoa	01/03/1990	377,55	520784780	31/03/1990	377,22	514716358	-6068422	96,1
Epitácio Pessoa	01/04/1990	377,21	514532465	30/04/1990	377	510670742	-3861723	95,3
Epitácio Pessoa	01/05/1990	376,99	510486850	31/05/1990	376,77	506441235	-4045615	94,5
Epitácio Pessoa	01/06/1990	376,76	506257343	30/06/1990	376,57	502763403	-3493940	93,9
Epitácio Pessoa	01/07/1990	376,56	502579511	31/07/1990	376,44	500372812	-2206699	93,4
Epitácio Pessoa	01/08/1990	376,43	500188920	31/08/1990	376,18	491808207	-8380713	91,8
Epitácio Pessoa	01/09/1990	376,17	491414125	30/09/1990	375,93	481956162	-9457963	90
Epitácio Pessoa	01/10/1990	375,92	481562080	31/10/1990	375,6	468951463	-12610617	87,5
Epitácio Pessoa	01/11/1990	375,59	468557381	30/11/1990	375,25	455158600	-13398781	85
Epitácio Pessoa	01/12/1990	375,24	454764518	31/12/1990	374,9	441365737	-13398781	82,4
Epitácio Pessoa	01/01/1991	374,89	440971655	31/01/1991	374,55	427572875	-13398780	79,8
Epitácio Pessoa	01/02/1991	374,54	427178792	28/02/1991	374,26	416643564	-10535228	77,8
Epitácio Pessoa	01/03/1991	374,25	416299388	31/03/1991	375,41	461463909	45164521	86,1
Epitácio Pessoa	01/04/1991	376,46	500740596	30/04/1991	376,45	500556704	-183892	93,4
Epitácio Pessoa	01/05/1991	376,63	503866752	31/05/1991	376,68	504786211	919459	94,2
Epitácio Pessoa	01/06/1991	376,68	504786210	30/06/1991	376,45	500556704	-4229506	93,4
Epitácio Pessoa	01/07/1991	376,45	500556703	30/07/1991	376,2	492596371	-7960332	92
Epitácio Pessoa	01/08/1991	376,19	492202288	31/08/1991	375,99	484320653	-7881635	90,4
Epitácio Pessoa	01/09/1991	375,98	483926571	30/09/1991	375,71	473286363	-10640208	88,4
Epitácio Pessoa	01/10/1991	375,7	472892281	31/10/1991	375,39	460675745	-12216536	86
Epitácio Pessoa	01/11/1991	375,38	460281663	30/11/1991	375,04	446882883	-13398780	83,4
Epitácio Pessoa	01/12/1991	375,03	446488800	31/12/1991	374,67	432301856	-14186944	80,7
Epitácio Pessoa	01/01/1992	374,66	431907774	31/01/1992	376,1	488655553	56747779	91,2

Epitácio Pessoa	01/02/1992	376,29	496143106	29/02/1992	377,12	512877441	16734335	95,7
Epitácio Pessoa	01/03/1992	377,11	512693549	31/03/1992	377,13	513061333	367784	95,8
Epitácio Pessoa	01/04/1992	377,14	513245224	30/04/1992	377,38	517658623	4413399	96,6
Epitácio Pessoa	01/05/1992	377,46	519129756	31/05/1992	377,1	512509658	-6620098	95,7
Epitácio Pessoa	01/06/1992	377,1	512509658	30/06/1992	376,89	508647935	-3861723	95
Epitácio Pessoa	01/07/1992	376,89	508647934	31/07/1992	376,68	504786211	-3861723	94,2
Epitácio Pessoa	01/08/1992	376,68	504786210	31/08/1992	376,44	500372812	-4413398	93,4
Epitácio Pessoa	01/09/1992	376,44	500372812	30/09/1992	376,25	494566780	-5806032	92,3
Epitácio Pessoa	01/10/1992	376,25	494566779	31/10/1992	375,96	483138408	-11428371	90,2
Epitácio Pessoa	01/11/1992	375,95	482744325	30/11/1992	375,66	471315954	-11428371	88
Epitácio Pessoa	01/12/1992	375,65	330592201	31/12/1992	375,25	316988424	-13603776	77
Epitácio Pessoa	01/01/1993	375,23	454370436	31/01/1993	374,87	440183492	-14186944	82,2
Epitácio Pessoa	01/02/1993	374,88	440577573	28/02/1993	374,52	426390629	-14186944	79,6
Epitácio Pessoa	01/03/1993	374,51	425996547	31/03/1993	374,16	413201807	-12794740	77,1
Epitácio Pessoa	01/04/1993	374,15	412857631	30/04/1993	373,81	401155658	-11701973	74,9
Epitácio Pessoa	01/05/1993	373,81	401155658	31/05/1993	373,5	390486212	-10669446	72,9
Epitácio Pessoa	01/06/1993	373,5	390486212	30/06/1993	373,22	380849293	-9636919	71,1
Epitácio Pessoa	01/07/1993	373,21	380505117	31/07/1993	372,93	370868198	-9636919	69,2
Epitácio Pessoa	01/08/1993	372,92	370524022	31/08/1993	372,62	360198752	-10325270	67,2
Epitácio Pessoa	01/09/1993	372,61	359854576	30/09/1993	372,29	348842184	-11012392	65,1
Epitácio Pessoa	01/10/1993	372,27	348154183	31/10/1993	371,78	331298178	-16856005	61,8
Epitácio Pessoa	01/11/1993	371,77	330954177	30/11/1993	371,38	317538173	-13416004	59,3
Epitácio Pessoa	01/12/1993	371,37	317194172	31/12/1993	370,91	301370167	-15824005	56,3
Epitácio Pessoa	01/01/1994	370,9	301026166	31/01/1994	370,6	290706163	-10320003	54,3
Epitácio Pessoa	01/02/1994	370,59	290362163	28/02/1994	370,96	303090167	12728004	56,6
Epitácio Pessoa	01/03/1994	370,96	303090167	31/03/1994	371,11	308250169	5160002	57,5
Epitácio Pessoa	01/04/1994	371,12	308594169	30/04/1994	370,95	302746167	-5848002	56,5
Epitácio Pessoa	01/05/1994	370,94	302402167	31/05/1994	370,85	299306166	-3096001	55,9
Epitácio Pessoa	01/06/1994	370,84	298962166	30/06/1994	370,78	296898165	-2064001	55,4
Epitácio Pessoa	01/07/1994	370,78	296898165	31/07/1994	370,65	292426163	-4472002	54,6
Epitácio Pessoa	01/08/1994	370,64	292082163	31/08/1994	370,37	282794160	-9288003	52,8

Epitácio Pessoa	01/09/1994	370,35	186386618	30/09/1994	370,08	180505032	-5881586	43,2
Epitácio Pessoa	01/10/1994	370,07	180287196	31/10/1994	369,68	172320926	-7966269	41,2
Epitácio Pessoa	01/11/1994	369,67	172119632	30/11/1994	369,24	163463982	-8655650	39,1
Epitácio Pessoa	01/12/1994	369,23	163262688	31/12/1994	368,78	154549516	-8713172	37
Epitácio Pessoa	01/01/1995	368,76	238715990	31/01/1995	368,33	227071853	-11644137	50,41
Epitácio Pessoa	01/02/1995	368,32	226834988	28/02/1995	368,78	239262668	12427680	53,12
Epitácio Pessoa	01/03/1995	368,78	239262668	31/03/1995	371,66	327170176	87907508	72,64
Epitácio Pessoa	01/04/1995	371,71	328890176	30/04/1995	372,75	364673036	35782860	80,96
Epitácio Pessoa	01/05/1995	372,75	364673036	31/05/1995	374,14	412513455	47840419	91,58
Epitácio Pessoa	01/06/1995	374,15	412857631	30/06/1995	374,05	409415874	-3441757	90,9
Epitácio Pessoa	01/07/1995	374,06	409760050	31/07/1995	373,93	405285766	-4474284	89,98
Epitácio Pessoa	01/08/1995	373,92	404941590	31/08/1995	373,62	394616320	-10325270	87,61
Epitácio Pessoa	01/09/1995	373,6	393927968	30/09/1995	373,26	382225995	-11701973	84,86
Epitácio Pessoa	01/10/1995	373,25	381881820	31/10/1995	372,89	369491495	-12390325	82,03
Epitácio Pessoa	01/11/1995	372,88	369147319	30/11/1995	372,47	355036116	-14111203	78,82
Epitácio Pessoa	01/12/1995	372,45	354347765	31/12/1995	372,02	339554180	-14793585	75,39
Epitácio Pessoa	01/01/1996	372,01	339210180	31/01/1996	371,66	327170176	-12040004	72,64
Epitácio Pessoa	01/02/1996	371,65	326826175	29/02/1996	371,24	312722171	-14104004	69,43
Epitácio Pessoa	01/03/1996	371,22	197812634	31/03/1996	372,04	218886613	21073978	53,17
Epitácio Pessoa	01/04/1996	372,03	218606306	30/04/1996	372,66	236265609	17659303	57,39
Epitácio Pessoa	01/05/1996	372,74	238508061	31/05/1996	372,8	240189899	1681838,4	58,34
Epitácio Pessoa	01/06/1996	372,79	239909593	30/06/1996	372,57	233742852	-6166741	56,78
Epitácio Pessoa	01/07/1996	372,57	233742852	31/07/1996	372,36	227856417	-5886434	55,35
Epitácio Pessoa	01/08/1996	372,35	227576111	31/08/1996	372,08	220007838	-7568273	53,44
Epitácio Pessoa	01/09/1996	372,06	219447225	30/09/1996	371,74	211114469	-8332756	51,28
Epitácio Pessoa	01/10/1996	371,72	210602860	31/10/1996	371,3	199859071	-10743790	48,55
Epitácio Pessoa	01/11/1996	371,29	199603266	30/11/1996	370,97	191493059	-8110207	46,51
Epitácio Pessoa	01/12/1996	370,96	191262434	31/12/1996	370,52	181114925	-10147509	43,99
Epitácio Pessoa	01/01/1997	370,5	180653675	31/01/1997	370,33	176733047	-3920628	42,93
Epitácio Pessoa	01/02/1997	370,31	176271796	28/02/1997	370,01	169353040	-6918756	41,14
Epitácio Pessoa	01/03/1997	369,99	168916238	31/03/1997	371,47	204207747	35291509	49,6

Epitácio Pessoa	01/04/1997	371,48	204463552	30/04/1997	372,73	238227754	33764202	57,87
Epitácio Pessoa	01/05/1997	372,73	238227754	31/05/1997	372,73	238227754	0	57,87
Epitácio Pessoa	01/06/1997	372,72	237947448	30/06/1997	372,45	230379175	-7568273	55,96
Epitácio Pessoa	01/07/1997	372,44	230098869	31/07/1997	372,17	222530596	-7568273	54,05
Epitácio Pessoa	01/08/1997	372,16	222250289	31/08/1997	371,87	214439928	-7810361	52,09
Epitácio Pessoa	01/09/1997	371,86	214184124	30/09/1997	371,46	203951943	-10232181	49,54
Epitácio Pessoa	01/10/1997	371,45	203696138	31/10/1997	371	192184935	-11511203	46,68
Epitácio Pessoa	01/11/1997	370,99	191954310	30/11/1997	370,58	182498677	-9455633	44,33
Epitácio Pessoa	01/12/1997	370,56	182037426	31/12/1997	370,16	172812418	-9225008	41,98
Epitácio Pessoa	01/01/1998	370,14	172351168	31/01/1998	369,7	162937107	-9414061	39,6
Epitácio Pessoa	01/02/1998	369,69	162730930	28/02/1998	369,27	154071497	-8659433	37,4
Epitácio Pessoa	01/03/1998	369,25	153659144	31/03/1998	368,8	144823579	-8835565	35,2
Epitácio Pessoa	01/04/1998	368,78	144455465	30/04/1998	368,35	136541014	-7914451	33,2
Epitácio Pessoa	01/05/1998	368,33	136172900	31/05/1998	367,96	129441089	-6731811	31,4
Epitácio Pessoa	01/06/1998	367,95	129276606	30/06/1998	367,6	123519719	-5756887	30
Epitácio Pessoa	01/07/1998	367,59	123355236	31/07/1998	367,24	117598349	-5756887	28,6
Epitácio Pessoa	01/08/1998	367,23	117433867	31/08/1998	366,9	112193152	-5240715	27,3
Epitácio Pessoa	01/09/1998	366,89	112047391	30/09/1998	366,43	105342351	-6705040	25,6
Epitácio Pessoa	01/10/1998	366,41	105050828	31/10/1998	365,92	98039782	-7011046	23,8
Epitácio Pessoa	01/11/1998	365,9	97781079	30/11/1998	365,43	91701540	-6079539	22,3
Epitácio Pessoa	01/12/1998	365,41	91442837	31/12/1998	364,93	85323977	-6118860	20,7
Epitácio Pessoa	01/01/1999	364,91	85090997	31/01/1999	364,46	79848932	-5242065	19,4
Epitácio Pessoa	01/02/1999	364,44	79615951	28/02/1999	364,09	75538789	-4077162	18,3
Epitácio Pessoa	01/03/1999	364,08	75422299	31/03/1999	365,05	86786169	11363870	21,1
Epitácio Pessoa	01/04/1999	365,04	86656817	30/04/1999	364,69	82528209	-4128608	20
Epitácio Pessoa	01/05/1999	364,69	82528209	31/05/1999	364,97	85789939	3261730	20,8
Epitácio Pessoa	01/06/1999	364,96	85673448	30/06/1999	364,69	82528209	-3145239	20
Epitácio Pessoa	01/07/1999	364,68	82411719	31/07/1999	364,43	79499461	-2912258	19,3
Epitácio Pessoa	01/08/1999	364,42	79382970	31/08/1999	364,12	75888260	-3494710	18,4
Epitácio Pessoa	01/09/1999	364,12	75888260	30/09/1999	363,76	71964386	-3923874	17,5
Epitácio Pessoa	01/10/1999	363,74	71753887	31/10/1999	363,42	68385900	-3367987	16,6

Epitácio Pessoa	01/11/1999	363,4	68175400	30/11/1999	363,04	64386415	-3788985	15,6
Epitácio Pessoa	01/12/1999	363,02	64175915	31/12/1999	363,4	68175400	3999484,8	16,56
Epitácio Pessoa	01/01/2000	363,45	68701648	31/01/2000	364,38	78917009	10215361	19,2
Epitácio Pessoa	01/02/2000	364,37	78800518	29/02/2000	367,35	119407656	40607138	29
Epitácio Pessoa	01/03/2000	367,36	119572139	31/03/2000	369,01	148710896	29138757	36,1
Epitácio Pessoa	01/04/2000	369,14	151391197	30/04/2000	370,69	185035554	33644357	44,9
Epitácio Pessoa	01/05/2000	370,68	184804929	31/05/2000	370,54	181576176	-3228753	44,1
Epitácio Pessoa	01/06/2000	370,53	181345551	30/06/2000	370,38	177886173	-3459378	43,2
Epitácio Pessoa	01/07/2000	370,37	177655548	31/07/2000	370,26	175118671	-2536877	42,5
Epitácio Pessoa	01/08/2000	370,25	174888046	31/08/2000	370,06	170506167	-4381879	41,4
Epitácio Pessoa	01/09/2000	370,05	170275542	30/09/2000	369,85	166029761	-4245781	40,3
Epitácio Pessoa	01/10/2000	369,84	165823584	31/10/2000	369,53	159432098	-6391486	38,7
Epitácio Pessoa	01/11/2000	369,52	159225921	30/11/2000	369,21	152834436	-6391485	37,1
Epitácio Pessoa	01/12/2000	369,19	152422082	31/12/2000	368,94	147400377	-5021705	35,8
Epitácio Pessoa	01/01/2001	368,93	147216320	31/01/2001	368,61	141326496	-5889824	34,3
Epitácio Pessoa	01/02/2001	368,6	141142439	28/02/2001	368,29	135436672	-5705767	32,9
Epitácio Pessoa	01/03/2001	368,28	135252615	31/03/2001	369,29	154483851	19231236	37,5
Epitácio Pessoa	01/04/2001	369,34	155514736	30/04/2001	369,19	152422082	-3092654	37
Epitácio Pessoa	01/05/2001	369,18	152215905	31/05/2001	368,88	146296035	-5919870	35,5
Epitácio Pessoa	01/06/2001	368,87	146111978	30/06/2001	368,73	143535180	-2576798	34,9
Epitácio Pessoa	01/07/2001	368,73	143535180	31/07/2001	368,54	140038097	-3497083	34
Epitácio Pessoa	01/08/2001	368,53	139854040	31/08/2001	368,29	135436672	-4417368	32,9
Epitácio Pessoa	01/09/2001	368,27	135068558	30/09/2001	367,99	129934536	-5134022	31,6
Epitácio Pessoa	01/10/2001	367,98	129770054	31/10/2001	367,7	125164544	-4605510	30,4
Epitácio Pessoa	01/11/2001	367,69	125000061	30/11/2001	367,36	119572139	-5427922	29
Epitácio Pessoa	01/12/2001	367,35	119407657	31/12/2001	367,01	113815252	-5592405	27,6
Epitácio Pessoa	01/01/2002	367	113650770	31/01/2002	369,42	157164152	43513382	38,2
Epitácio Pessoa	01/02/2002	369,41	156957975	28/02/2002	369,76	164174168	7216193	39,9
Epitácio Pessoa	01/03/2002	370,75	186419306	31/03/2002	370,7	185266179	-1153127	45
Epitácio Pessoa	01/04/2002	370,69	185035554	30/04/2002	370,56	182037427	-2998127	44,2
Epitácio Pessoa	01/05/2002	370,55	181806802	31/05/2002	370,52	181114926	-691876	44

Epitácio Pessoa	01/06/2002	370,54	181576176	30/06/2002	370,4	178347423	-3228753	43,3
Epitácio Pessoa	01/07/2002	370,4	178347423	31/07/2002	370,19	173504294	-4843129	42,1
Epitácio Pessoa	01/08/2002	370,19	173504294	30/08/2002	369,93	167679177	-5825117	40,7
Epitácio Pessoa	01/09/2002	369,92	167473000	30/09/2002	369,62	161287691	-6185309	39,2
Epitácio Pessoa	01/10/2002	369,61	161081514	31/10/2002	369,28	154277674	-6803840	37,5
Epitácio Pessoa	01/11/2002	369,26	153865320	30/11/2002	368,92	147032263	-6833057	35,7
Epitácio Pessoa	01/12/2002	368,91	146848206	31/12/2002	368,58	140774325	-6073881	34,2
Epitácio Pessoa	01/01/2003	368,57	140590268	31/01/2003	368,24	134516387	-6073881	32,7
Epitácio Pessoa	01/02/2003	368,24	134516387	28/02/2003	368,17	133227988	-1288399	32,4
Epitácio Pessoa	01/03/2003	368,16	133043931	31/03/2003	368,4	137461299	4417368	33,4
Epitácio Pessoa	01/04/2003	368,39	137277242	30/04/2003	368,48	138933755	1656513	33,7
Epitácio Pessoa	01/05/2003	368,47	138749698	31/05/2003	368,27	135068558	-3681140	32,8
Epitácio Pessoa	01/06/2003	368,26	134884501	30/06/2003	368,08	131571475	-3313026	32
Epitácio Pessoa	01/07/2003	368,07	131387418	31/07/2003	367,81	126973851	-4413567	30,8
Epitácio Pessoa	01/08/2003	367,8	126809369	31/08/2003	367,52	122203859	-4605510	29,7
Epitácio Pessoa	01/09/2003	367,52	122203859	30/09/2003	367,23	117433867	-4769992	28,5
Epitácio Pessoa	01/10/2003	367,22	117269384	31/10/2003	366,86	111610105	-5659279	27,1
Epitácio Pessoa	01/11/2003	366,85	111464344	30/11/2003	366,48	106071160	-5393184	25,8
Epitácio Pessoa	01/12/2003	366,47	105925398	31/12/2003	366,08	100240691	-5684707	24,3
Epitácio Pessoa	01/01/2004	366,07	100094930	31/01/2004	377,53	397258175	297163245	96,5
Epitácio Pessoa	01/02/2004	377,83	408947171	29/02/2004	378,45	411686287	2739116	100
Epitácio Pessoa	01/03/2004	378,51	411686287	31/03/2004	378,13	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/04/2004	378,12	411686287	30/04/2004	377,97	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/05/2004	377,96	411686287	31/05/2004	377,86	410121078	-1565209	99,6
Epitácio Pessoa	01/06/2004	377,86	410121078	30/06/2004	377,78	406990659	-3130419	98,9
Epitácio Pessoa	01/07/2004	377,79	407381961	31/07/2004	377,81	408164566	782605	99,1
Epitácio Pessoa	01/08/2004	377,8	407773264	31/08/2004	377,61	400338519	-7434745	97,2
Epitácio Pessoa	01/09/2004	377,6	399947216	30/09/2004	377,39	392130466	-7816750	95,2
Epitácio Pessoa	01/10/2004	377,38	391764201	31/10/2004	377,1	381508784	-10255417	92,7
Epitácio Pessoa	01/11/2004	377,1	381508784	30/11/2004	376,84	372190034	-9318750	90,4
Epitácio Pessoa	01/12/2004	376,83	371836528	31/12/2004	376,54	361584845	-10251683	87,8

Epitácio Pessoa	01/01/2005	376,53	361231339	31/01/2005	376,79	370422502	9191163	90
Epitácio Pessoa	01/02/2005	376,78	370068996	28/02/2005	376,61	364059389	-6009607	88,4
Epitácio Pessoa	01/03/2005	376,6	363705883	31/03/2005	378,73	411686287	47980404	100
Epitácio Pessoa	01/04/2005	378,7	411686287	30/04/2005	378,19	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/05/2005	378,17	411686287	31/05/2005	378,09	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/06/2005	378,09	411686287	30/06/2005	378,1	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/07/2005	378,09	411686287	31/07/2005	377,92	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/08/2005	377,91	411686287	31/08/2005	377,76	406208054	-5478233	98,7
Epitácio Pessoa	01/09/2005	377,75	405816752	30/09/2005	377,5	396159380	-9657372	96,2
Epitácio Pessoa	01/10/2005	377,5	396159380	31/10/2005	377,19	384805168	-11354212	93,5
Epitácio Pessoa	01/11/2005	377,18	384438903	30/11/2005	376,89	373957565	-10481338	90,8
Epitácio Pessoa	01/12/2005	376,88	373604059	31/12/2005	376,78	370068996	-3535063	89,9
Epitácio Pessoa	01/01/2006	376,77	369715489	31/01/2006	376,48	359463807	-10251682	87,31
Epitácio Pessoa	01/02/2006	376,47	359110301	28/02/2006	376,3	353100694	-6009607	85,8
Epitácio Pessoa	01/03/2006	376,3	353100694	31/03/2006	376,29	352747188	-353506	85,7
Epitácio Pessoa	01/04/2006	376,45	358403289	30/04/2006	377,3	388834082	30430793	94,4
Epitácio Pessoa	01/05/2006	377,39	392130466	31/05/2006	378,21	411686287	19555821	100
Epitácio Pessoa	01/06/2006	378,2	411686287	30/06/2006	378,32	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/07/2006	378,3	411686287	31/07/2006	378,08	411686287	0	100
Epitácio Pessoa	01/08/2006	378,07	411686287	31/08/2006	377,86	410121078	-1565209	99,6
Epitácio Pessoa	01/09/2006	377,85	409729775	30/09/2006	377,59	399555913	-10173862	97,05
Epitácio Pessoa	01/10/2006	377,58	399164611	31/10/2006	377,28	388101551	-11063060	94,27
Epitácio Pessoa	01/11/2006	377,27	387735287	30/11/2006	376,99	377492628	-10242659	91,69
Epitácio Pessoa	01/12/2006	376,99	377492628	31/12/2006	376,69	366887439	-10605189	89,12
Epitácio Pessoa	01/01/2007	376,68	366533933	31/01/2007	376,38	355928744	-10605189	86,46
Epitácio Pessoa	01/02/2007	376,37	355575238	28/02/2007	376,7	367240945	11665708	89,2
Epitácio Pessoa	01/03/2007	376,74	368654970	31/03/2007	376,65	365473414	-3181557	88,77
Epitácio Pessoa	01/04/2007	376,64	365119908	30/04/2007	376,45	358403288	-6716620	87,06
Epitácio Pessoa	01/05/2007	376,45	358403288	31/05/2007	376,22	350272643	-8130645	85,08
Epitácio Pessoa	01/06/2007	376,21	349919137	30/06/2007	376,04	343909530	-6009607	83,54
Epitácio Pessoa	01/07/2007	376,04	343909530	31/07/2007	375,82	336373806	-7535725	81,71

Epitácio Pessoa	01/08/2007	375,81	336033711	31/08/2007	375,6	328891729	-7141983	79,89
Epitácio Pessoa	01/09/2007	375,6	328891729	30/09/2007	375,36	320729463	-8162266	77,91
Epitácio Pessoa	01/10/2007	375,35	320389368	31/10/2007	375,04	309846442	-10542927	75,26
Epitácio Pessoa	01/11/2007	375,03	309506347	30/11/2007	374,7	298779506	-10726842	72,57
Epitácio Pessoa	01/12/2007	374,69	298455954	31/12/2007	374,36	287778739	-10677214	69,9
Epitácio Pessoa	01/01/2008	374,35	287455187	31/01/2008	374,04	277425077	-10030110	67,39
Epitácio Pessoa	01/02/2008	374,04	277425077	29/02/2008	373,75	268547159	-8877918	65,23
Epitácio Pessoa	01/03/2008	373,74	268243810	31/03/2008	378,9	452965707	184721897	110,03
Epitácio Pessoa	01/04/2008	378,87	451706879	30/04/2008	378,4	431985250	-19721630	104,93
Epitácio Pessoa	01/05/2008	378,38	431146031	31/05/2008	378,39	431565640	419609,14	104,83
Epitácio Pessoa	01/06/2008	378,37	430726422	30/06/2008	378,12	420559791	-10166631	102,16
Epitácio Pessoa	01/07/2008	378,12	420559791	31/07/2008	377,98	414886281	-5673510	100,78
Epitácio Pessoa	01/08/2008	377,98	414886281	31/08/2008	377,8	407773263	-7113018	99,05
Epitácio Pessoa	01/09/2008	377,8	407773263	30/09/2008	377,55	397990704	-9782559	96,67
Epitácio Pessoa	01/10/2008	377,54	397624439	31/10/2008	377,25	387002757	-10621682	94
Epitácio Pessoa	01/11/2008	377,23	386270227	30/11/2008	376,92	375018084	-11252143	91,09
Epitácio Pessoa	01/12/2008	376,91	374664577	31/12/2008	376,59	363352376	-11312201	88,26
Epitácio Pessoa	01/01/2009	376,58	362998870	31/01/2009	376,28	352393681	-10605189	85,6
Epitácio Pessoa	01/02/2009	376,29	352747187	28/02/2009	376,37	355575238	2828050,3	86,37
Epitácio Pessoa	01/03/2009	376,36	355221731	31/03/2009	376,39	356282250	1060518,9	86,54
Epitácio Pessoa	01/04/2009	376,38	355928744	30/04/2009	377,31	389200346	33271602	94,54
Epitácio Pessoa	01/05/2009	377,6	399947216	31/05/2009	378,88	452126488	52179272	109,82
Epitácio Pessoa	01/06/2009	378,82	449608833	30/06/2009	378,31	428276183	-21332650	104,03
Epitácio Pessoa	01/07/2009	378,3	427870058	31/07/2009	378,2	423808798	-4061259	102,94
Epitácio Pessoa	01/08/2009	378,2	423808798	31/08/2009	378,04	417310784	-6498015	101,37
Epitácio Pessoa	01/09/2009	378,03	416904658	30/09/2009	377,79	407381961	-9522697	98,95
Epitácio Pessoa	01/10/2009	377,78	406990659	31/10/2009	377,45	394328055	-12662604	95,78
Epitácio Pessoa	01/11/2009	377,44	393961790	30/11/2009	377,14	382973843	-10987947	93,03
Epitácio Pessoa	01/12/2009	377,13	382607578	31/12/2009	376,85	372543540	-10064038	90,49
Epitácio Pessoa	01/01/2010	376,84	372190033	31/01/2010	376,77	369715489	-2474544	89,81
Epitácio Pessoa	01/02/2010	376,76	369361983	28/02/2010	376,59	363352376	-6009607	88,26

Epitácio Pessoa	01/03/2010	376,58	362998870	31/03/2010	376,55	361938351	-1060519	87,92
Epitácio Pessoa	01/04/2010	376,55	361938351	30/04/2010	376,52	360877832	-1060519	87,66
Epitácio Pessoa	01/05/2010	376,51	360524326	31/05/2010	376,61	364059389	3535062,9	88,43
Epitácio Pessoa	01/06/2010	376,6	363705882	30/06/2010	376,57	362645364	-1060519	88,09
Epitácio Pessoa	01/07/2010	376,57	362645364	31/07/2010	376,38	355928744	-6716620	86,46
Epitácio Pessoa	01/08/2010	376,37	355575238	31/08/2010	376,14	347444593	-8130645	84,4
Epitácio Pessoa	01/09/2010	376,13	347091087	30/09/2010	375,85	337394089	-9696998	81,95
Epitácio Pessoa	01/10/2010	375,84	337053994	31/10/2010	376,02	343202518	6148523,1	83,37
Epitácio Pessoa	01/11/2010	376,01	342849011	30/11/2010	375,67	331272389	-11576622	80,47
Epitácio Pessoa	01/12/2010	375,65	330592201	31/12/2010	375,37	321069557	-9522643	77,99
Epitácio Pessoa	01/01/2011	375,36	320729463	31/01/2011	375,57	327871445	7141982,6	79,64
Epitácio Pessoa	01/02/2011	375,56	327531351	28/02/2011	376,69	366887439	39356088	89,12
Epitácio Pessoa	01/03/2011	376,77	369715489	31/03/2011	378,42	432824468	63108979	105,13
Epitácio Pessoa	01/04/2011	378,4	431985250	30/04/2011	378,72	445412742	13427493	108,19
Epitácio Pessoa	01/05/2011	378,8	448769615	31/05/2011	378,44	433663686	-15105929	105,34
Epitácio Pessoa	01/06/2011	378,41	432404859	30/06/2011	378,19	423402672	-9002186	102,85
Epitácio Pessoa	01/07/2011	378,19	423402672	31/07/2011	378,26	426245554	2842881,4	103,54
Epitácio Pessoa	01/08/2011	378,27	426651680	31/08/2011	378,08	418935287	-7716392	101,76
Epitácio Pessoa	01/09/2011	378,08	418935287	30/09/2011	377,83	408947170	-9988117	99,33
Epitácio Pessoa	01/10/2011	377,82	408555868	31/10/2011	377,53	397258174	-11297694	96,5
Epitácio Pessoa	01/11/2011	377,52	396891909	30/11/2011	377,24	386636492	-10255417	93,92
Epitácio Pessoa	01/12/2011	377,23	386270227	31/12/2011	376,89	373957565	-12312662	90,84
Epitácio Pessoa	01/01/2012	376,88	373604059	31/01/2012	376,65	365473414	-8130645	88,77
Epitácio Pessoa	01/02/2012	376,64	365119908	29/02/2012	376,52	360877832	-4242075	87,66
Epitácio Pessoa	01/03/2012	376,51	360524326	31/03/2012	376,1	346030568	-14493758	84,05
Epitácio Pessoa	01/04/2012	376,09	345677062	30/04/2012	375,75	333993145	-11683917	81,13
Epitácio Pessoa	01/05/2012	375,74	333653050	31/05/2012	375,47	324470501	-9182549	78,81
Epitácio Pessoa	01/06/2012	375,46	324130407	30/06/2012	375,24	316648330	-7482077	76,91
Epitácio Pessoa	01/07/2012	375,24	316648330	31/07/2012	375,01	308826158	-7822171	75,01
Epitácio Pessoa	01/08/2012	375,01	308826158	31/08/2012	374,71	299103057	-9723101	72,65
Epitácio Pessoa	01/09/2012	374,7	298779506	30/09/2012	374,39	288749395	-10030110	70,14

Epitácio Pessoa	01/10/2012	374,37	288102291	31/10/2012	374,02	276777973	-11324318	67,23
Epitácio Pessoa	01/11/2012	374	276130869	30/11/2012	373,59	263693584	-12437285	64,05
Epitácio Pessoa	01/12/2012	373,58	263390235	31/12/2012	373,2	251862995	-11527240	61,18
Epitácio Pessoa	01/01/2013	373,19	251559647	31/01/2013	372,8	240189899	-11369748	58,34
Epitácio Pessoa	01/02/2013	372,78	239629286	28/02/2013	372,42	229538256	-10091030	55,76
Epitácio Pessoa	01/03/2013	372,41	229257949	31/03/2013	372,08	220007838	-9250111	53,44
Epitácio Pessoa	01/04/2013	372,06	219447225	30/04/2013	371,83	213416710	-6030515	51,84
Epitácio Pessoa	01/05/2013	371,83	213416710	31/05/2013	371,52	205486770	-7929940	49,91
Epitácio Pessoa	01/06/2013	371,51	205230966	30/06/2013	371,26	198835853	-6395113	48,3
Epitácio Pessoa	01/07/2013	371,25	198580048	31/07/2013	371,03	192952349	-5627699	46,87
Epitácio Pessoa	01/08/2013	371,02	192696544	31/08/2013	370,7	185266179	-7430365	45
Epitácio Pessoa	01/09/2013	370,7	185266179	30/09/2013	370,38	177886173	-7380006	43,21
Epitácio Pessoa	01/10/2013	370,37	177655547	31/10/2013	369,97	168503884	-9151663	40,93
Epitácio Pessoa	01/11/2013	369,96	168297707	30/11/2013	369,66	162112398	-6185309	39,38
Epitácio Pessoa	01/12/2013	369,64	161700044	31/12/2013	369,28	154277674	-7422371	37,47
Epitácio Pessoa	01/01/2014	369,27	154071497	31/01/2014	368,81	145007636	-9063861	35,22
Epitácio Pessoa	01/02/2014	368,79	144639522	28/02/2014	368,51	139485926	-5153596	33,88
Epitácio Pessoa	01/03/2014	368,5	139301869	31/03/2014	368,2	133780158	-5521710	32,5
Epitácio Pessoa	01/04/2014	368,18	133412044	30/04/2014	368,09	131755531	-1656513	32
Epitácio Pessoa	01/05/2014	368,14	132675816	31/05/2014	368,06	131203360	-1472456	31,87
Epitácio Pessoa	01/06/2014	368,05	131019303	30/06/2014	367,85	127631781	-3387522	31
Epitácio Pessoa	01/07/2014	367,84	127467298	31/07/2014	367,56	122861788	-4605510	29,84
Epitácio Pessoa	01/08/2014	367,54	122532823	31/08/2014	367,22	117269384	-5263440	28,49
Epitácio Pessoa	01/09/2014	367,2	116940419	30/09/2014	366,86	111610105	-5330314	27,11
Epitácio Pessoa	01/10/2014	366,85	111464343	31/10/2014	366,47	105925398	-5538945	25,73
Epitácio Pessoa	01/11/2014	366,45	105633874	30/11/2014	366,06	99949167	-5684707	24,28
Epitácio Pessoa	01/12/2014	366,05	99803406	31/12/2014	365,66	94676633	-5126773	23
Epitácio Pessoa	01/01/2015	365,65	94547281	31/01/2015	365,23	89114502	-5432779	21,65
Epitácio Pessoa	01/02/2015	365,22	88985150	28/02/2015	365,17	88338391	-646759,4	21,46
Epitácio Pessoa	01/03/2015	365,17	88338391	31/03/2015	364,86	84508544	-3829847	20,53
Epitácio Pessoa	01/04/2015	364,84	84275564	30/04/2015	364,58	81246815	-3028749	19,74

Epitácio Pessoa	01/05/2015	364,56	81013834	31/05/2015	364,19	76703692	-4310142	18,63
Epitácio Pessoa	01/06/2015	364,18	76587202	30/06/2015	363,91	73543130	-3044072	17,86
Epitácio Pessoa	01/07/2015	363,91	73543130	31/07/2015	363,68	71122389	-2420741	17,28
Epitácio Pessoa	01/08/2015	363,66	70911890	31/08/2015	363,33	67438653	-3473237	16,38
Epitácio Pessoa	01/09/2015	363,32	67333403	30/09/2015	362,92	63204469	-4128934	15,35
Epitácio Pessoa	01/10/2015	362,9	63014232	31/10/2015	362,46	58829025	-4185208	14,29
Epitácio Pessoa	01/11/2015	362,45	58733906	30/11/2015	362,04	54834052	-3899853	13,32
Epitácio Pessoa	01/12/2015	362,03	54738934	31/12/2015	361,67	51642342	-3096592	12,54
Epitácio Pessoa	01/01/2016	361,66	51557153	31/01/2016	361,37	49086673	-2470481	11,92
Epitácio Pessoa	01/02/2016	361,37	49086673	29/02/2016	361,07	46531003	-2555670	11,3
Epitácio Pessoa	01/03/2016	361,06	46445814	31/03/2016	360,67	43453735	-2992079	10,56
Epitácio Pessoa	01/04/2016	360,65	43303374	30/04/2016	360,34	40972789	-2330585	9,95
Epitácio Pessoa	01/05/2016	360,32	40822429	31/05/2016	359,97	38218750	-2603679	9,28
Epitácio Pessoa	01/06/2016	359,97	38218750	30/06/2016	359,57	35579897	-2638853	8,64
Epitácio Pessoa	01/07/2016	359,55	35447954	31/07/2016	359,14	32743130	-2704825	7,95
Epitácio Pessoa	01/08/2016	359,13	32677159	31/08/2016	358,72	30221466	-2455693	7,34
Epitácio Pessoa	01/09/2016	358,7	30107318	30/09/2016	358,26	27596072	-2511246	6,7
Epitácio Pessoa	01/10/2016	358,25	27538998	31/10/2016	357,75	24888595	-2650404	6,05
Epitácio Pessoa	01/11/2016	357,73	24790710	30/11/2016	357,2	22196764	-2593946	5,39
Epitácio Pessoa	01/12/2016	357,18	22098880	31/12/2016	356,67	19828074	-2270805	4,82
Epitácio Pessoa	01/01/2017	356,65	19743842	31/01/2017	356,08	17343205	-2400637	4,21
Epitácio Pessoa	01/02/2017	356,06	17258972	28/02/2017	355,52	15312656	-1946316	3,72
Epitácio Pessoa	01/03/2017	355,5	15242089	31/03/2017	354,87	13094571	-2147517	3,18
Epitácio Pessoa	01/04/2017	354,85	13035597	30/04/2017	355,2	14183578	1147980,6	3,45
Epitácio Pessoa	01/05/2017	355,28	14465847	31/05/2017	357,26	22490418	8024570,8	5,46
Epitácio Pessoa	01/06/2017	357,32	22784072	30/06/2017	358,36	28166810	5382737,9	6,84
Epitácio Pessoa	01/07/2017	358,41	28452179	31/07/2017	359	31819532	3367353	7,73
Epitácio Pessoa	01/08/2017	359,02	31951475	31/08/2017	359,42	34590327	2638852,8	8,4
Epitácio Pessoa	01/09/2017	359,42	34590327	30/09/2017	359,56	35513926	923598,48	8,63
Epitácio Pessoa	01/10/2017	359,56	35513926	31/10/2017	359,94	38020836	2506910,2	9,24
Epitácio Pessoa	01/11/2017	359,95	38086807	30/11/2017	359,98	38284721	197913,96	9,3

Epitácio Pessoa	01/12/2017	359,99	38350693	31/12/2017	360,18	39769907	1419214,2	9,66
Epitácio Pessoa	01/01/2018	360,18	39769907	31/01/2018	360,51	42250852	2480945,3	10,26
Epitácio Pessoa	01/02/2018	360,52	42326032	28/02/2018	361,44	49682996	7356963,7	12,07
Epitácio Pessoa	01/03/2018	361,49	50108941	30/03/2018	363,53	69543645	19434704	16,89
Epitácio Pessoa	01/04/2018	363,57	69964643	30/04/2018	368,79	144639522	74674879	35,13
Epitácio Pessoa	01/05/2018	368,85	145743864	31/05/2018	368,75	143903294	-1840570	34,95
Epitácio Pessoa	01/06/2018	368,74	143719237	30/06/2018	368,39	137277241	-6441996	33,35
Epitácio Pessoa	01/07/2018	368,37	136909126	31/07/2018	368	130099016	-6810110	31,6
Epitácio Pessoa	01/08/2018	367,98	129770051	31/08/2018	367,54	122532822	-7237229	29,76
Epitácio Pessoa	01/09/2018	367,52	122203857	29/09/2018	367,1	115295593	-6908264	28,01
Epitácio Pessoa	01/10/2018	367,07	114802145	31/10/2018	366,55	107091492	-7710653	26,01
Epitácio Pessoa	01/11/2018	366,54	106945731	30/11/2018	366,02	99366123	-7579607	24,14
Epitácio Pessoa	01/12/2018	366	99074600	31/12/2018	365,47	92218948	-6855652	22,4
Epitácio Pessoa	01/01/2019	365,46	92089596	31/01/2019	364,91	85090995	-6998601	18,24
Epitácio Pessoa	01/02/2019	364,9	84974505	28/02/2019	365,62	94159227	9184722,2	20,18
Epitácio Pessoa	01/03/2019	365,63	94288579	31/03/2019	365,87	97393025	3104446,1	20,88
Epitácio Pessoa	01/04/2019	366,05	99803408	30/04/2019	366,57	107383016	7579607,4	23,02
Epitácio Pessoa	01/05/2019	366,57	107383016	31/05/2019	366,5	106362684	-1020332	22,8
Epitácio Pessoa	01/06/2019	366,48	122788528	27/06/2019	366,14	117334179	-5454349	25,15

Fonte: AESA (2019)

**APÊNDICE B – CURVA COTA x ÁREA x VOLUME (CAV) DO RESERVATÓRIO
EPITÁCIO PESSOA**

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
343,8	0,0	0,0
344,0	13,9	0,8
345,0	103.442,5	32.158,4
346,0	269.821,0	220.750,6
347,0	505.923,1	604.875,8
348,0	706.328,2	1.209.233,6
349,0	992.765,3	2.052.822,5
350,0	1.294.135,6	3.196.705,4
351,0	1.663.982,9	4.666.350,6
352,0	2.133.012,1	6.561.110,2
353,0	2.577.964,3	8.909.569,7
354,0	3.093.744,6	11.738.365,7
355,0	3.891.496,1	15.181.534,7
356,0	4.766.649,5	19.515.514,1
357,0	5.653.237,9	24.721.180,2
358,0	6.550.175,1	30.816.205,3
359,0	7.460.537,4	37.822.770,1
360,0	8.432.244,2	45.769.074,0
361,0	9.296.605,2	54.633.683,5
362,0	10.234.885,4	64.382.384,1
363,0	11.401.038,2	75.185.947,7
364,0	12.628.453,8	87.195.930,7
365,0	13.917.188,8	100.460.185,7
366,0	15.509.071,2	115.131.293,8
367,0	17.434.375,5	131.558.888,2
368,0	19.431.043,1	149.983.600,8
369,0	21.768.564,0	170.612.757,0
370,0	24.048.203,0	193.506.732,8
371,0	26.434.064,4	218.742.599,7
372,0	28.897.484,9	246.394.123,9
373,0	31.459.682,0	276.563.646,3
374,0	34.207.561,0	309.404.969,3
375,0	37.216.955,0	345.093.318,8
376,0	40.274.437,3	383.831.759,8
377,0	43.692.875,7	425.810.703,0
377,9	46.789.254,9	466.525.964,1

Fonte: AESA (2019)