



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

MONIQUE ANDRADE BEZERRA

**ANÁLISE DA SEGURANÇA HÍDRICA DO AÇUDE SÃO JOSÉ II NO SERTÃO
PERNAMBUCANO**

CAMPINA GRANDE - PB

2018

Monique Andrade Bezerra

**ANÁLISE DA SEGURANÇA HÍDRICA DO AÇUDE SÃO JOSÉ II NO SERTÃO
PERNAMBUCANO**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à Universidade
Federal de Campina Grande – UFCG,
para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE – PB

2018

Monique Andrade Bezerra

**ANÁLISE DA SEGURANÇA HÍDRICA DO AÇUDE SÃO JOSÉ II NO SERTÃO
PERNAMBUCANO**

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 10/08/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo de Aragão - UFCG
Orientador

Prof. Dr. Janiro Costa Rêgo
Examinador Interno

Me. Tayron Juliano Souza
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Heliana e Jair, pelo apoio em todas as minhas decisões. Especialmente à minha mãe, que sempre fez de tudo por mim.

Às minhas tias, Heliene e Helenice, pelo suporte que me deram nos anos mais difíceis da graduação.

A Cybelle Belém, pelo exemplo de amor, amizade e companheirismo que recebi durante dois anos. Por compartilhar suas experiências acadêmicas e por me orientar em diversos momentos durante a graduação.

A Pablo Wagner, por ouvir todas as minhas frustrações durante boa parte da graduação e me orientar em diversas situações acadêmicas.

A Carlos Veras, por todos os seus ensinamentos e pelo seu exemplo de coragem.

Agradeço imensamente ao professor Ricardo por toda a paciência que recebi durante a elaboração do Projeto de Pesquisa e durante a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso. Por todas as orientações, conselhos e pelo apoio recebido.

À COMPESA pelas contribuições fornecidas.

A Rubens Hayran, por compartilhar seu conhecimento e por me orientar na utilização da planilha Hidro.

RESUMO

A água é indispensável às atividades humanas e, conseqüentemente, ao desenvolvimento econômico e social de uma sociedade. Entretanto, a água é um bem escasso e precisa, por isso, ser bem gerida para evitar situações de colapso. O Nordeste brasileiro enfrenta ciclos de seca em que a sua população sofre com as adversidades advindas da escassez hídrica. A otimização da operação de reservatórios aliada a uma eficiente gestão de recursos hídricos contribui para o uso racional da água, aumentando a capacidade de abastecimento hídrico em períodos de estiagem. Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo utilizar a técnica de simulação de reservatórios, através da planilha Hidro, para estudar a disponibilidade hídrica futura, em determinados contextos de análise, do açude São José II, em São José do Egito, no interior de Pernambuco. Foram elaborados três cenários de simulação e projetou-se a capacidade de abastecimento para a população futura, em um horizonte de até 10 anos, do município. Os resultados levaram a conclusão de que o açude é capaz de continuar o abastecimento da cidade, devendo ter sua operação otimizada.

Palavras-chave: Simulação de reservatórios. Disponibilidade hídrica. Planilha Hidro.

ABSTRACT

Water is indispensable to human activities and, consequently, to the economic and social development of a society. However, water is a scarce commodity and must be well managed to avoid situations of collapse. The Brazilian Northeast faces drought cycles in which population suffers from the adversities arising with water scarcity. The optimization of reservoir operation coupled with efficient management of water resources contributes to the rational use of water, increasing the water supply capacity during periods of drought. In view of the described, the research aims to use a reservoir simulation technique, through the Hidro worksheet, to study the future water availability, in certain contexts of analysis, of the production of São José II, in São José do Egito, in the interior of Pernambuco. Three scenarios of simulation were elaborated and the capacity of supply for the future population, in a horizon of up to 10 years, of the municipality was projected. The results led to the conclusion that the dam is able to continue supplying the city and should have its operation optimized.

Key words: Simulation of reservoirs. Water availability. Hidro spreadsheet.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processos básicos do ciclo hidrológico.....	3
Figura 2 - Divisão fisiográfica da bacia do rio São Francisco	5
Figura 3 - Hidrografia do rio Pajeú	6
Figura 4 – Apresentação da planilha Hidro	13
Figura 5 - Curva S para o método da Curva Logística	16
Figura 6 - Regressão linear em três casos.....	18
Figura 7 - Posição de São José do Egito em Pernambuco.....	19
Figura 8 - Histograma da precipitação mensal para o São José do Egito.....	21
Figura 9 - Temperatura mensal de São José do Egito	21
Figura 10 – Principais afluentes do rio Pajeú e alguns dos reservatórios instalados na bacia .	22
Figura 11 - Bacia de drenagem do açude São José II.....	23
Figura 12 - Precipitação ao longo da série histórica (2001-2017).....	26
Figura 13 - Lâmina evaporada mensalmente.....	27
Figura 14 - Curva C-A-V	29
Figura 15 - Vazões afluentes estimadas do açude na série considerada (2001-2017).....	30
Figura 16 - Esquema dos anos chuvosos, normais e secos.....	32
Figura 17 - Planilha de alerta utilizada para a efetuação das simulações.....	33
Figura 18 - Projeções populacionais obtidas pelos métodos aritmético, geométrico e de regressão linear	35
Figura 19 - Projeção da demanda até 2030	37
Figura 20 – Cenário 1 de simulação	38
Figura 21 - Cenário 2 de simulação.....	39
Figura 22 - Cenário 3 de simulação.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Expressões matemáticas para o método Logístico	16
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados da série histórica de precipitação	26
Tabela 2 - Evapotranspiração mensal média da série histórica	27
Tabela 3 - Pontos da curva C-A-V	28
Tabela 4 - Dados da população fornecidos pelo IBGE	30
Tabela 5 - Projeção populacional obtida pelo método aritmético	36

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento

ETA – Estação de Tratamento de Água

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MDS – Ministério de Desenvolvimento Social

PE – Pernambuco

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

PIB – Produto Interno Bruto

SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 CICLO HIDROLÓGICO	3
2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS	4
2.3 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	6
2.4 RESERVATÓRIOS	7
2.4.1 <i>Gestão de recursos hídricos</i>	9
2.4.2 <i>Balanço hídrico de um reservatório</i>	11
2.5 SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIOS	11
2.6 ESTIMATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA	13
2.6.1 <i>Método aritmético</i>	14
2.6.2 <i>Método geométrico</i>	14
2.6.3 <i>Método da curva logística</i>	15
2.6.4 <i>Método AiBi</i>	17
2.6.5 <i>Regressão Linear</i>	17
3 ÁREA DE ESTUDO	19
3.1 ASPECTOS GERAIS E POSIÇÃO GEOGRÁFICA DA CIDADE	19
3.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	19
3.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	20
3.4 ABASTECIMENTO HÍDRICO	22
4 METODOLOGIA	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	25
4.2 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS	25
4.2.1 <i>Precipitação</i>	25
4.2.2 <i>Evapotranspiração</i>	27
4.2.3 <i>Curva cota-área-volume</i>	28
4.2.4 <i>Vazões afluentes</i>	29
4.3 ESTIMATIVA POPULACIONAL	30

4.3.1 Método geométrico	31
4.3.2 Método aritmético.....	31
4.3.3 Método da regressão linear	31
4.4 DEMANDA HÍDRICA	31
4.5 OFERTA HÍDRICA	31
4.5.1 <i>Projeção dos níveis futuros do reservatório</i>	32
4.5.2 <i>Planilha Hidro</i>	33
4.6 CENÁRIOS ANALISADOS	33
4.6.1 <i>Cenário 1</i>	33
4.6.2 <i>Cenário 2</i>	34
4.6.3 <i>Cenário 3</i>	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1 ESTIMATIVAS POPULACIONAIS	35
5.2 ESTUDO DA DEMANDA DE ÁGUA	36
5.3 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.....	37
5.3.1 <i>Cenário 1</i>	37
5.3.2 <i>Cenário 2</i>	39
5.3.3 <i>Cenário 3</i>	40
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

É típico do semiárido brasileiro a passagem por estiagens. Nestes períodos, os reservatórios utilizados para abastecimento, para as mais diversas finalidades, reduzem seus volumes para níveis baixíssimos, tornando-se insuficientes para o atendimento hídrico.

Todos os setores da sociedade sofrem em cenários de estiagem, como observado na região do semiárido nordestino em 2012. Neste ano, devido à diminuição das chuvas, o setor agrícola havia registrado a perda de 370 mil toneladas de grãos. Nos 100 primeiros dias, os danos gerados pela seca já se faziam notar no setor da pecuária: as vendas de animais do sertão nordestino para outros estados do país era 73% maior que o total de vendas registrado para o mesmo período de 2011. A população mais abastada dependia do abastecimento ofertado por carros pipas, muitas vezes de uma água sem qualidade, enquanto que a população carente ficava à deriva, à espera de ações de órgãos públicos (ROSA, 2012). Segundo o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2017), ao final de 2017, o semiárido brasileiro atingiu a marca histórica de seis anos consecutivos de seca (2012-2017).

As políticas adotadas para amenizar os impactos gerados pela seca não foram constantes ao longo do tempo, pois tomaram inicialmente um caráter essencialmente de assistencialismo para os habitantes até que assumiu uma forma permanente e estruturante, em 1945, com a construção de reservatórios, os também chamados açudes. A seca enfrentada pelo semiárido brasileiro assinala a necessidade de maximizar o conhecimento sobre a oferta, as demandas e as condições de operação dos reservatórios para, dessa forma, aperfeiçoar o conhecimento sobre o balanço hídrico do semiárido e aprimorar a operação de açudes (ANA, 2017).

Neste contexto, insere-se o açude São José II, situado em São José do Egito, no sertão de Pernambuco, principal fonte de abastecimento desta cidade. O reservatório foi construído em 1981 com a finalidade de aumentar a capacidade de atendimento das demandas da população em face das periódicas situações de escassez. O açude, desde então, constitui-se como principal fonte de abastecimento do município. Diante de sua relevância, identifica-se a importância de conhecer o comportamento dos níveis do açude para que possa ser possível traçar planos de otimização para um aproveitamento racional do recurso hídrico, bem como planejar o nível de consumo da população com o propósito de prolongar o abastecimento, evitar

o colapso do reservatório e garantir a continuidade do desenvolvimento econômico e social dos habitantes. A simulação de disponibilidade hídrica permite analisar os níveis que o reservatório assume em variados cenários, seja à curto ou longo prazo, de escassez ou de cheia, permitindo verificar a segurança hídrica do reservatório frente ao crescimento da demanda.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade de abastecimento do reservatório São José II, no sertão pernambucano, através de diferentes cenários simulados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar a população e a demanda futura a partir do cenário atual;
- Estimar os volumes afluentes ao reservatório no período de 2001 até 2017;
- Classificar os anos da série histórica como chuvosos, normais ou secos com base nos volumes de entrada do reservatório ao longo destes anos;
- Elaborar cenários de simulação do comportamento futuro do reservatório em até 10 anos, tomando como referência os anos chuvosos, normais ou secos;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico caracteriza-se pela circulação fechada e distribuição da água entre a superfície terrestre, oceanos, subsolo e atmosfera, impulsionada fortemente pela energia solar, pela gravidade e pela rotação da Terra (SILVEIRA, 2001).

A energia solar promove a evaporação da água, que ficará armazenada na atmosfera em estado gasoso até que ocorra a precipitação e então todos os outros processos básicos componentes do ciclo hidrológico serão decorrentes, quais sejam: interceptação, infiltração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo. Na Figura 1 está representado o ciclo hidrológico e seus processos básicos.

Figura 1 - Processos básicos do ciclo hidrológico



Fonte: USGS (2011).

Detalhando-se o ciclo hidrológico:

A precipitação ocorre quando a água, sob o efeito da radiação solar, *evapora* e se torna uma massa de ar úmido. Quando ocorre o resfriamento dessa massa de ar úmido, acontece a formação de minúsculas gotas de água que se prendem a sais e partículas higroscópicas presentes na atmosfera e são responsáveis pela composição de nuvens ou qualquer outro tipo

de nebulosidade. As gotículas em suspensão que se chocam crescem até que fiquem pesadas o suficiente para precipitar sob forma de chuva, ou granizo, ou neve ou orvalho (NAGHETTINI, 2012).

A infiltração refere-se à quantidade de água precipitada que penetra no solo. Esse processo determina o balanço de água nas raízes das plantas e, portanto, conhecê-lo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (NETTO, 2011).

A interceptação é a quantidade de água retida por plantas, o volume de água detido por obstáculos. Este processo influencia de forma direta na infiltração e no escoamento superficial.

A transpiração é o processo pelo qual a água presente no solo, retirada pelas plantas para sua sobrevivência, é eliminada para a atmosfera sob forma de vapor. A esse processo dá-se o nome de transpiração. A evaporação da água do solo em conjunto com a transpiração recebe o nome de evapotranspiração (PINTO, 1976).

Quando a máxima capacidade de infiltração do solo é atingida, ocorre o escoamento superficial. As depressões do terreno são inicialmente preenchidas, para então acontecer o escoamento propriamente dito. O escoamento superficial é ainda dividido em dois tipos: o escoamento superficial direto e o escoamento subterrâneo (PINTO, 1976).

2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

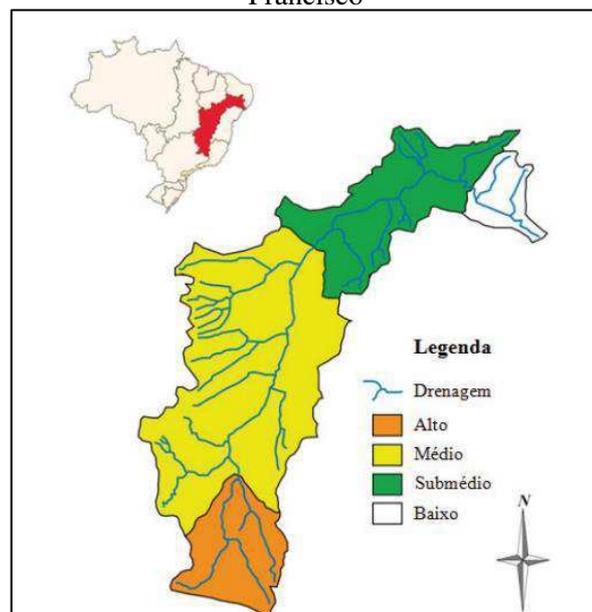
Caracteriza-se como bacia hidrográfica a área de captação de água precipitada em que todas as vertentes e as redes de drenagem dos cursos de água convergem para um ponto de saída em comum: o exutório. Considera-se a bacia hidrográfica como um sistema físico em que a entrada é o volume precipitado, as perdas intermediárias são constituídas pelos volumes evaporados e transpirados - assim como os volumes infiltrados profundamente - e a saída é formada pelo volume escoado (SILVEIRA, 2001). A diferença entre a quantidade de água que entra no sistema da bacia e a quantidade que sai denomina-se balanço hídrico (HEIN, 2000).

A divisão da bacia hidrográfica é definida pela adoção de picos topográficos como separadores dos cursos de água pertencentes a uma bacia hidrográfica adjacente. No Brasil, país detentor de uma das mais extensas redes fluviais do mundo, são 12 regiões hidrográficas. Cada rede hidrográfica é formada pelo rio principal e todos os seus afluentes e subafluentes (REIS, 2011).

Uma das principais bacias do país, a bacia do Rio São Francisco corresponde a 7,5% do território nacional, abrangendo parte de sete unidades da federação: Bahia (307.794 km², 48,2%), Minas Gerais (235.635 km², 36,9%), Pernambuco (68.966 km², 10,8%), Alagoas (14.687 km², 2,3%), Sergipe (7.024 km², 1,1%) e Goiás (3.193 km², 0,5%). A água do São Francisco constitui aproximadamente 2/3 da disponibilidade hídrica de água doce do Nordeste brasileiro segundo o Projeto Áridas (1995), dado que revela a importância desta bacia para a região. Possui uma área total de 638.323 km² e seu curso principal tem uma extensão de 2.696 km entre a cabeceira na Serra da Canastra e a foz no Oceano Atlântico, entre os estados de Alagoas e Sergipe. A bacia compreende parte significativa do semiárido brasileiro, região reconhecida como território de longas passagens por estiagens críticas, estando predominantemente situada na região Nordeste. A bacia oferece, então, a oportunidade de desenvolvimento para o Nordeste, permitindo, além da produção de energia elétrica, a aquicultura, irrigação, suprimento de água, turismo e recreação, pesca comercial e pesca esportiva (SILVA; CLARKE, 2004).

A bacia do rio São Francisco está dividida ainda em quatro regiões fisiográficas: Alto São Francisco; Médio São Francisco; Submédio São Francisco; e, baixo São Francisco (BRASIL, 2006). A Figura 2 apresenta a abrangência da bacia do rio São Francisco dentro do Brasil e destaca as regiões fisiográficas acima mencionadas.

Figura 2 - Divisão fisiográfica da bacia do rio São Francisco



Fonte: SOARES, 2013, p. 79.

As bacias hidrográficas são formadas pelas sub-bacias, áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. A bacia do rio Pajeú, situada no Submédio da bacia do rio São Francisco, é, segundo a Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC (2018), o rio de Pernambuco com maior bacia hidrográfica, correspondendo a 16,97% da área do estado. A área de drenagem do município envolve 27 municípios, dos quais 7 possuem suas sedes inseridas na bacia. Os municípios totalmente inseridos na bacia são: Afogados da Ingazeira, Betânia, Brejinho, Calumbi, Flores, Ingazeira, Itapetim, Quixabá, Santa Cruz da Baixa Verde, Santa Terezinha, São José do Egito, Serra Talhada, Solidão, Tabira, Triunfo e Tuparetama. Destes citados, o rio nasce no município de Brejinho. Existem 30 reservatórios formados pela água do rio Pajeú, todos com capacidade máxima acima de 1 milhão de metros cúbicos. Na Figura 3, visualiza-se a hidrografia do rio no estado de Pernambuco.

Figura 3 - Hidrografia do rio Pajeú



Fonte: APAC (2018).

2.3 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A rede de abastecimento de água tem como objetivo principal garantir ao usuário quantidade compatível com a necessidade do consumidor, com boa qualidade e pressão suficiente. O Brasil cada vez mais estende o atendimento hídrico para a população,

contabilizando um número cada vez maior de ligações. O grande problema reside nas perdas existentes no fornecimento de água ao usuário final. Faz-se necessário, dessa forma, a adoção de medidas que reduzam esse prejuízo expressivo (RIGHETTO, 2002).

De acordo com TSUTIYA (2006), os componentes do sistema de abastecimento de água podem ser definidos da seguinte forma:

- O manancial é o corpo de água de onde deve ser retirado o volume de água definido para abastecimento. O volume deve ser suficiente para atender a demanda hídrica durante o período previsto em projeto para operação;
- A captação é o conjunto de dispositivos e estruturas utilizados para a retirada de água do manancial para que seja possível o abastecimento;
- A estação elevatória é o conjunto formado por obras e equipamentos que permitem bombear um volume de água, sendo possível vencer desníveis existentes entre dois pontos considerados. A estação elevatória pode ser considerada tanto para água bruta quanto para água tratada. Há ainda a estação do tipo “booster” usada para aumentar a pressão ou a vazão em adutoras ou mesmo em redes de abastecimento;
- A adutora é a canalização responsável pela distribuição de água até antes da rede de distribuição. Pode ser adutora de água bruta ou de água tratada;
- Estação de tratamento de água é a estrutura que possui como finalidade o tratamento de água, garantindo as condições de potabilidade para que então possa ser distribuída até o usuário final;
- O reservatório é a parte da rede de abastecimento através da qual é possível a regularização das vazões. Dessa forma, consegue-se atender aos diferentes volumes de consumo por período, desde a horários em que há picos de consumo até horários em que há uma queda no consumo;
- Rede de distribuição é a malha formada por tubulações que levam a água tratada até o consumidor, em condições adequadas para o consumo.

2.4 RESERVATÓRIOS

Segundo Lopes e Santos (2002), os reservatórios possuem como finalidade armazenar água quando tem oferta em períodos chuvosos para compensar a falta em períodos de estiagem, exercendo um efeito regularizador das vazões naturais. Geralmente, os reservatórios são

formados por barragens implantadas nos cursos de água. As características físicas, notadamente a capacidade de armazenamento, são determinadas fundamentalmente pelas características topográficas do vale no qual está inserido. Um reservatório pode ser descrito em termos dos níveis dos seus volumes característicos:

- Nível d'água mínimo operacional define o limite superior do volume morto e o limite inferior do volume útil do reservatório. Constitui a cota mínima necessária para a operação do reservatório;
- Volume morto corresponde à parcela do reservatório que não está apta para fins de captação, ficando inativa. Está abaixo do nível d'água mínimo operacional;
- Nível d'água máximo operacional é a cota máxima definida para operação normal do reservatório. Este nível define o limite superior do volume útil;
- O volume útil é o volume efetivamente destinada para a operação do reservatório e, portanto, deve considerar as perdas por infiltração e evaporação quando estas forem significativas. Está compreendido entre os níveis mínimo operacional e máximo operacional;
- O volume de espera é uma parcela do volume útil dedicada para amortecer ondas de cheia, visando ao atendimento às restrições da vazão de jusante;
- Nível d'água máximo maximorum corresponde à sobrelevação máxima medida a partir do NA máximo operacional;
- Crista do barramento é uma medida de segurança adotada para se evitar que as ondas formadas pelo vento ultrapassem a crista da barragem e para evitar eventuais transbordamentos. É a sobrelevação máxima em relação ao nível máximo maximorum;
- Nível de alerta define a necessidade de racionamento da água. Quando o manancial atinge este nível, o objetivo é o de atender alguma demanda prioritariamente, como o abastecimento humano.

O barramento de um curso d'água para aumentar a disponibilidade hídrica de uma região constitui uma das técnicas mais antigas para o uso da água. À medida em que ocorre o crescimento populacional e com isso toda a conjuntura socioeconômica também se modifica, muitas vezes os reservatórios dimensionados e planejados para determinada demanda não é mais capaz de atender aos consumos cada vez mais crescentes (DADALTO et al., 2016).

Um reservatório de acumulação é construído, em sua maioria, com a finalidade de reter o excesso obtido durante épocas de cheias, com o intuito de manter o abastecimento em períodos de escassez. Além desse propósito, um reservatório de acumulação também é utilizado para atenuar cheias a jusante. Em sistemas de abastecimento d'água e irrigação, existem os reservatórios de distribuição, cujo objetivo é o de regularizar a demanda variável ao longo de um dia. Esses reservatórios fornecem às ETA's, ou às estações de recalque, a possibilidade de um funcionamento relativamente uniforme, liberando a água armazenada durante os picos de demanda. Em ambos os casos e independentemente de seu tamanho, um reservatório funciona como um regulador das vazões afluentes dos cursos d'água, no primeiro caso, ou das variações das demandas, no segundo caso (NAGHETTINI, 2012).

Fala-se em escassez crônica e em escassez absoluta de água quando o volume de água disponível por ano per capita é inferior a valores padronizados. O chamado stress hídrico define um nível de consumo superior ao montante disponível para o consumo de determinada população. Dessa forma, a depender das características do clima da região, da gestão dos sistemas de armazenamento, da distribuição de água e do desperdício, o valor de stress hídrico de uma localidade possui diferentes valores (OLIVO; ISHIKI, 2015). É de extrema importância conhecer a capacidade de abastecimento de um reservatório e a partir dessa delimitação, procurar otimizar a operação do sistema para evitar tanto quanto possível as situações de colapso.

2.4.1 Gestão de recursos hídricos

A água é bem vital, necessário à continuidade de todas as formas de vida, animais e vegetais, imprescindível para quase todas as atividades humanas e, conseqüentemente, ao desenvolvimento econômico e social. Mas a água é bem escasso. Essa escassez decorre de fatores físicos e hidrometeorológicos que variam espacialmente. Quanto ao espaço temporal, decorre das variações no escoamento entre escalas de tempo. No aspecto qualitativo, a escassez se apresenta em função das necessidades específicas dos usuários e da aptidão da água para ser utilizada dentre os mais diversos fins. É devido a esse caráter de escassez que a água é um bem que precisa ser bem administrado, a fim de se evitar conflitos de aproveitamento, que ocorrem devido ao atendimento simultâneo a diversas categorias de usuários (MEDEIROS et al., 2012).

Por muito tempo, o Brasil não dedicou políticas públicas exclusivas para a regulamentação do uso responsável e integrado da água, situação que, aliada ao desperdício e a degradação do recurso, contribuiu ainda mais para a escassez. Diante desta carência, em 1988 a Constituição Federal previu a instituição de um Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelecendo ainda os critérios de concessão da outorga de direitos de uso do recurso como competência da União. Para regulamentar a previsão constitucional foi instituída a lei nº 9.433/97, instituindo assim a Política Nacional de Recursos Hídricos criando o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos – SNGRH. Com a promulgação da então intitulada “Lei das Águas”, a gestão da água passou a ser descentralizada e integralizada com participação do Poder Público, usuários e comunidade como um todo, situação que foi possível com a criação de instituições que auxiliam nesse processo, como os Conselhos Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas e os Comitês de Bacias (FERREIRA; FERREIRA, 2006).

O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – PERH-PE, preconizado no art. 15 da Lei 11.426 de 17/01/97 estabelece a Política e o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Fica definido no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (2006) como instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos:

- A outorga de direito de uso dos recursos hídricos, concedido pelo poder público em forma de concessão (uso de utilidade pública) ou autorização (outras finalidades), independentemente dessa outorga o uso para satisfação das primeiras necessidades da vida de populações difusas, bem como as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes pelo órgão gestor dos recursos hídricos;
- A aplicação de penalidades por infrações cometidas;
- A cobrança pelo uso ou derivação da água, bem como pela diluição, transporte e assimilação de efluentes de sistemas de esgotos e de outros líquidos poluentes;
- O Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos - SIRH, constituído por uma base de dados, informatizada, obtida a partir da coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de dados sobre recursos hídricos e fatores intervenientes no ciclo hidrológico.

2.4.2 *Balanço hídrico de um reservatório*

O conhecimento da distribuição espacial e temporal do recurso hídrico possibilita elaborar estratégias para otimização da política de gestão deste recurso, possibilitando o aumento da eficiência do uso da água. A disponibilidade hídrica de uma região pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, que evidencia as variações sazonais dos excedentes e deficiências hídricas através de relações entre as entradas e as saídas de uma condição de controle, principalmente precipitação pluvial e evapotranspiração potencial (SOUZA et al., 2013).

O balanço hídrico de um reservatório de armazenamento de água é descrito como a relação entre o somatório do volume armazenado no reservatório, do valor precipitado sobre o manancial e da vazão afluente ao reservatório subtraído do volume de água perdido por evaporação, da infiltração do reservatório e do volume retirado para consumo (SOUZA, 2013).

2.5 SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Segundo Bacalhau (2015, p.23), “A simulação é uma técnica de modelagem que é usada para aproximar o comportamento de um sistema no computador, representando todas as principais características de um sistema por uma descrição matemática.”

O objetivo da simulação é o de representar e operar o sistema o mais fiel possível, constituindo-se em uma ótima ferramenta para análise do balanço de massas de um reservatório em cada intervalo de tempo. Para uso da técnica de modelagem, toma-se as vazões de aflúncias do local de estudo, as regras de operação do reservatório e as características físicas do sistema, com a vantagem de ser aplicável a sistemas complexos. Entretanto, a simulação não determina as regras de operação, esta solução é encontrada iterativamente e depende da sensibilidade e experiência do usuário (Bacalhau, 2015)

O modelo MODSIM é um Sistema de Apoio à Decisão de uma bacia hidrográfica e um modelo de rede de fluxo desenvolvido pela Universidade do Colorado, projetado especificamente para atender às crescentes demandas e pressões dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. É utilizado não somente como instrumento de gerenciamento como também para planejamento e análise das propostas definidas (PORTO, 1997).

O modelo Aquatool é um sistema de balanço hídrico que permite a simulação de sistemas regulados de exploração de recursos hídricos. Com esta ferramenta, é possível efetuar a simulação de sistemas complexos, englobando elementos de regulação e/ou armazenamento, superficiais ou subterrâneos, de captação, transporte, utilização e/ou consumo (VIVAS; MAIA, 2008).

A planilha eletrônica Hidro – Operação de Reservatórios com Base em Níveis de Alerta funciona como uma ferramenta para realizar o balanço hídrico de um reservatório, fornecendo informações sobre o manancial diante de estratégias de operação. A planilha pode ser usada em três momentos (OLIVEIRA; GALVÃO, 2004):

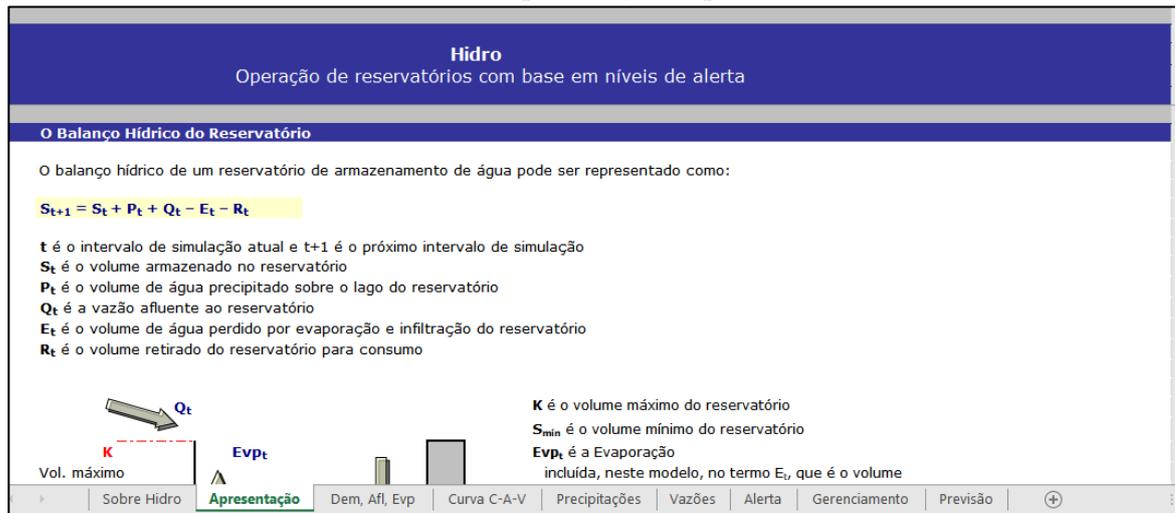
- Planejamento: definem-se aqui os níveis de alerta do reservatório;
- Gerenciamento: definidos os níveis de alerta, é possível acompanhar o comportamento do reservatório em tempo real;
- Previsão: os volumes futuros podem ser previstos a partir de informações hidrometeorológicas para um determinado período.

A planilha Hidro se divide em planilhas internas caracterizadas por sua função básica: planilhas de entrada de informações e planilhas de saída de resultados. Existem quatro planilhas cuja função é servir como entrada de informações: Curva C-A-V; Dem, Afl, Evp; Precipitações e Vazões. As planilhas de Alerta, Gerenciamento e Previsão são as planilhas de saída de resultados (OLIVEIRA; GALVÃO, 2004). As planilhas de entrada de informações são detalhadamente:

- Curva C-A-V: insere-se a curva C-A-V do açude nos valores de cota, área e volume;
- Dem, Afl, Evp: os valores de demanda, vazão afluyente e lâmina evaporada devem ser inseridos nesta seção;
- Precipitações: planilha para entrada dos valores das precipitações mensais da série histórica considerada;
- Vazões: planilha para entrada dos valores das vazões afluentes mensais ao reservatório na série histórica considerada.

A Figura 4 exhibe a apresentação da planilha Hidro.

Figura 4 – Apresentação da planilha Hidro



Fonte: *print screen* da apresentação da planilha Hidro (2018).

2.6 ESTIMATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA

O uso da água é dividido em consuntivo e não-consuntivo. O primeiro refere-se ao tipo de uso em que há perda de água entre o que é retirado do manancial e o que retorna para ele, como acontece na irrigação e nos abastecimentos humano e industrial. O segundo tipo de consumo é aquele em que a água não é consumida, como é o caso da utilização deste recurso para a geração da energia elétrica ou para a navegação, por exemplo (ANA, 2018).

Com o aumento das aglomerações humanas e com a respectiva elevação do consumo da água, o homem passou a executar grandes obras destinadas à captação, transporte e armazenamento hídrico. O consumo *per capita* de uma localidade é obtido pelo volume total de água consumido dividido pelo número de habitantes servidos com abastecimento. Com o crescimento da população, ocorre também o aumento no consumo. Entre os fatores determinantes desse fato destacam-se a maior demanda industrial e comercial, as maiores possibilidades de perdas nas extensas e, muitas vezes, obsoletas redes distribuidoras, e o uso para fins públicos, que podem assumir proporções mais amplas com a prosperidade da administração local e a preocupação em manter e ampliar o serviço de limpeza dos variados espaços urbanos, tais como pavimentos, edifícios, monumentos e parques (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

Para um projeto de sistema de abastecimento de água, é necessário o conhecimento da população final do horizonte de projeto, bem como da sua evolução ao longo do tempo, para o

estudo das etapas de implantação. Além disso, o estudo da demanda de água deve ser realizado com a finalidade de se precisar os níveis de consumo que também se modificam com o crescimento populacional. Dessa forma, diversos são os métodos que vêm sendo utilizados para estimar a demanda de água em uma determinada sequência de anos. Os principais métodos utilizados para as projeções populacionais são: crescimento aritmético, crescimento geométrico, curva logística, regressão linear e método AiBi (ROSA; FONTENELE; NOGUEIRA, 2006).

2.6.1 Método aritmético

Segundo Tsutiya (2006), esse método pressupõe uma taxa de crescimento constante para os anos que se seguem, sendo a população final, representada pela Equação 1.

$$P = P_2 + k_a (t - t_2) \quad (1)$$

$$k_a = \frac{(P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Em que:

P é a população final;

P₁ é a população do penúltimo censo, realizada no ano t₁;

P₂ é a população do último censo, realizada no ano t₂;

t representa o ano de projeção;

k_a é a constante aritmética a ser determinada.

2.6.2 Método geométrico

Segundo Tsutiya (2006), esse método considera para iguais períodos de tempo, a mesma porcentagem de aumento da população. A população final pode ser representada pela Equação 3.

$$P = P_2 e^{k_g(t - t_2)} \quad (3)$$

Em que:

P é a população final;

P₂ é a população do último censo, realizada no ano t₂;

t representa o ano de projeção;

k_g é a constante geométrica a ser determinada.

A constante geométrica pode ser determinada através da Equação 4.

$$k_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

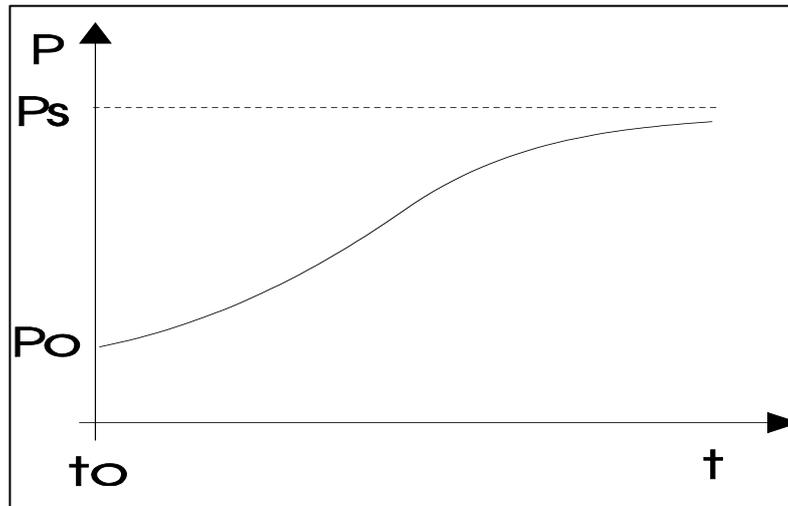
Em que:

P₁ é a população do penúltimo censo, realizada no ano t₁;

P₂ é a população do último censo, realizada no ano t₂.

2.6.3 Método da curva logística

Neste método, o crescimento populacional segue uma relação matemática que estabelece uma curva em forma de S. A população caminha assintoticamente para um valor de saturação. Na Figura 5 é possível observar a curva em forma de S (VON SPERLING, 2005).

Figura 5 - Curva S para o método da Curva Logística

Fonte: Von Sperling (2005)

No Quadro 1 dispõe-se das relações utilizadas para a realização do método logístico de crescimento populacional.

Quadro 1 - Expressões matemáticas para o método Logístico

Coeficientes	Fórmula de Projeção	Taxa de Crescimento
$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = (P_s - P_0) / P_0$ $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right]$	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_1 \cdot (t - t_0)}}$	$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \frac{(P_s - P)}{P}$

Fonte: Von Sperling (2005)

Em que:

dP/dt = taxa de crescimento da população em função do tempo

P_0, P_1, P_2 = populações nos anos t_0, t_1, t_2 (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão)

P_t = população estimada no ano t (hab) ; P_s = população de saturação (hab)

$K_a, K_g, K_d, K_1, i, c, r, s$ = coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas P_0, P_1 e P_2)

2.6.4 Método AiBi

O método AiBi parte do pressuposto de que as populações dos domínios inferiores são uma função linear da população de domínio maior. Por não existir limites para as participações relativas, pode haver populações negativas, constituindo uma desvantagem do método. Por isso, o método não é recomendado para projeções muito extensas e, de fato, o recomendado para o método é projetar em cima do tamanho da série do passado. Aponta-se ainda que o método é recomendado quando as áreas menores estão em declínio populacional ou mesmo quando apresentam crescimento pequeno e, também, quando o padrão de crescimento populacional nas pequenas áreas não é o mesmo da área maior (BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2008). A expressão matemática para o cálculo da população por meio do método AiBi é a Equação 5:

$$P_{t+10} = P_t + \frac{P_t - P_{t-10}}{PDM_t - PDM_{t-10}} (PDM_{t+10} - PDM_t) \quad (5)$$

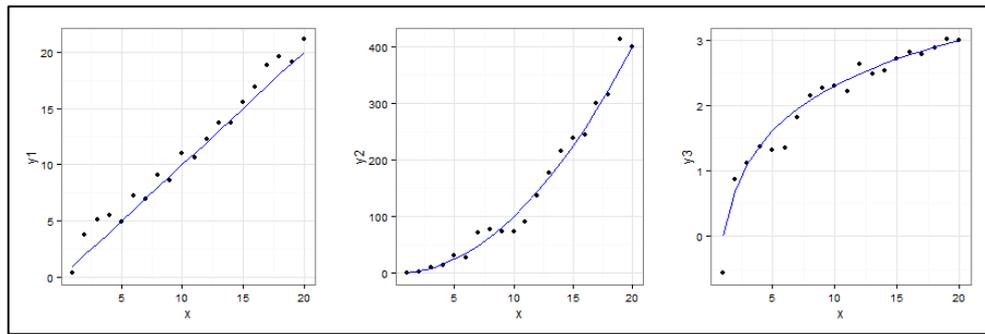
Em que:

P: população do domínio maior

PDM: população do domínio maior

2.6.5 Regressão Linear

O método da regressão consiste basicamente em obter uma equação que tenta explicar a variação de uma variável dependente a partir de uma variável independente. A regressão é dita linear quando a equação obtida é uma função linear. Da mesma forma, a regressão é dita não-linear quando a equação obtida não é uma função linear. Considerando-se duas variáveis, com um par do tipo (x,y), é possível observar graficamente o comportamento dos dados. O método da regressão aponta qual a melhor curva que se ajusta melhor a esses dados, podendo ser uma reta ou uma curva qualquer (MEDEIROS; BIANCHI, 2009). A Figura 6 apresenta três exemplos de regressão linear.

Figura 6 - Regressão linear em três casos

Fonte: EDTI (2015)

O ajuste da projeção populacional por regressão linear é dado pela Equação 6 (VON SPERLING, 2005):

$$P_t = P_0 + r(t - t_0)^s \quad (6)$$

Em que:

P_0 : população no ano t_0

P_t : população estimada para o ano t

r, s : coeficientes da regressão ou transformação logarítmica

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 ASPECTOS GERAIS E POSIÇÃO GEOGRÁFICA DA CIDADE

São José do Egito é uma cidade de porte pequeno, localizada na mesorregião do Sertão Pernambucano e na Microrregião do Pajeú, distando 404 km da capital Recife. Conta administrativamente com os distritos de Riacho do Meio e Bonfim e pelos povoados de Batatas, Mundo Novo, Curralinho, Juazeirinho, Espírito Santo e São Sebastião de Aguiar. Limita-se ao Norte com Itapetim e Brejinho, ao Sul com Ingazeira e Tuparetama, ao Leste com o estado da Paraíba e ao Oeste com Tabira e Santa Terezinha. Possui uma área de 791.901 km² (IBGE, 2008). A Figura 7 apresenta a posição da cidade no estado de Pernambuco.

Figura 7 - Posição de São José do Egito em Pernambuco



Fonte: IBGE (2018).

3.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

De acordo com o último censo demográfico realizado pelo IBGE (2010), o município de São José do Egito possui 31.829 habitantes, sendo que 20.960 (65,85%) vivem na área urbana e 10.869 (34,15%) residem em área rural.

Tendo uma densidade demográfica de 39,84 hab/km² e com Índice de Desenvolvimento Humano - IDH de 0,635 considerado médio no parâmetro dados pelo

programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. O município possui um PIB per capita de R\$ 8983.71. Na comparação com os demais municípios do estado, sua posição era de 65 de 185. Já na comparação com cidades do Brasil todo, sua colocação era de 3819 de 5570, segundo os dados do IBGE de 2014.

Com uma população crescente, São José do Egito conta com um centro comercial cada vez mais em expansão. Dessa forma, acaba por funcionar como um polo entre as cidades circunvizinhas, que oferece atividades e serviços que recorrentemente não são encontrados nos arredores. Portanto, a atividade econômica predominante é o comércio, além da agropecuária, sendo mais evidente a suinocultura, a avicultura de corte e de postura, caprinocultura de leite, ovinocultura, bovinocultura de leite e corte e apicultura.

3.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

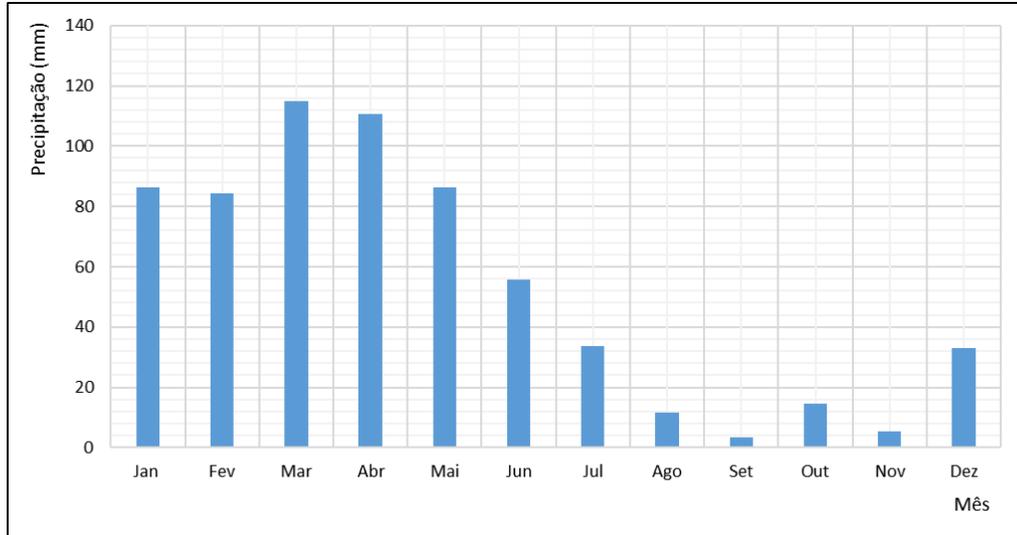
A região apresenta clima semiárido, disposição vista em um quinto de todo o território nacional. Devido à proximidade com a linha do Equador, este tipo de clima possui uma configuração particular que o torna um dos mais complexos entre os existentes, posição conquistada principalmente em razão de seu sistema de circulação atmosférica. A vegetação nativa típica é o bioma da Caatinga, com aspecto bastante rústico caracterizando um horizonte esbranquiçado em períodos de seca, simbólica composição do bioma em questão (CIRILO et. al, 2007).

A existência de bloqueios atmosféricos confere longos períodos de estiagem nos anos marcados pelo fenômeno El Niño, enquanto que os períodos de chuvas são de poucos meses e estão associados às passagens de frentes frias, à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e às bordas dos vórtices ciclônicos em altos níveis (VCANs) no verão (UVO et al., 1988)

Os meses mais chuvosos vão de janeiro até abril com precipitação média anual de 640 mm e com temperatura média anual de 22,6°C, com pouca variabilidade interanual. Grandes valores de temperatura exercem papel fundamental na evapotranspiração potencial dos rios, o que por sua vez determina o déficit hídrico durante o período de estiagem. Esta configuração caracteriza a intermitência dos rios do Nordeste, onde o fluxo de água dos rios e riachos são irregulares e o volume de água superficial desaparece em épocas de estiagem (GHEYI et. al, 2012).

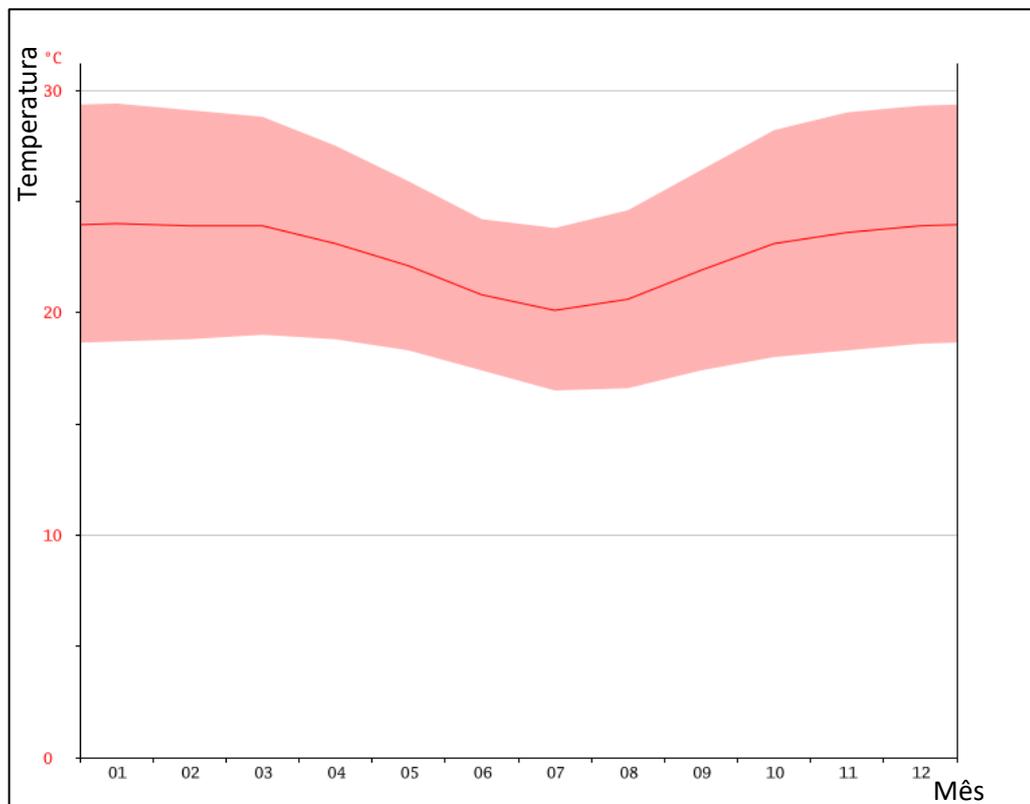
Na Figura 8, apresenta-se o histograma de precipitação para o município. Na Figura 9 é apresentado o gráfico de temperatura mensal para São José do Egito.

Figura 8 - Histograma da precipitação mensal para o São José do Egito



Fonte: APAC (2018), adaptado pelo autor.

Figura 9 - Temperatura mensal de São José do Egito



Fonte: Climate Data (2018).

3.4 ABASTECIMENTO HÍDRICO

São José do Egito está inserida na bacia hidrográfica do rio Pajeú, que por sua vez é integrante da bacia do rio São Francisco. O açude São José II é um barramento do rio Riacho Barro Branco e foi construído em 1981 para atender as necessidades de abastecimento da cidade, contando uma capacidade máxima de 7.152.875 m³. Anteriormente, a principal fonte de abastecimento para a cidade era o açude São José I, até que o regime de uso do açude São José II foi iniciado (APAC, 2018).

A Figura 10 apresenta os principais afluentes do rio Pajeú, assim como alguns reservatórios instalados na bacia.

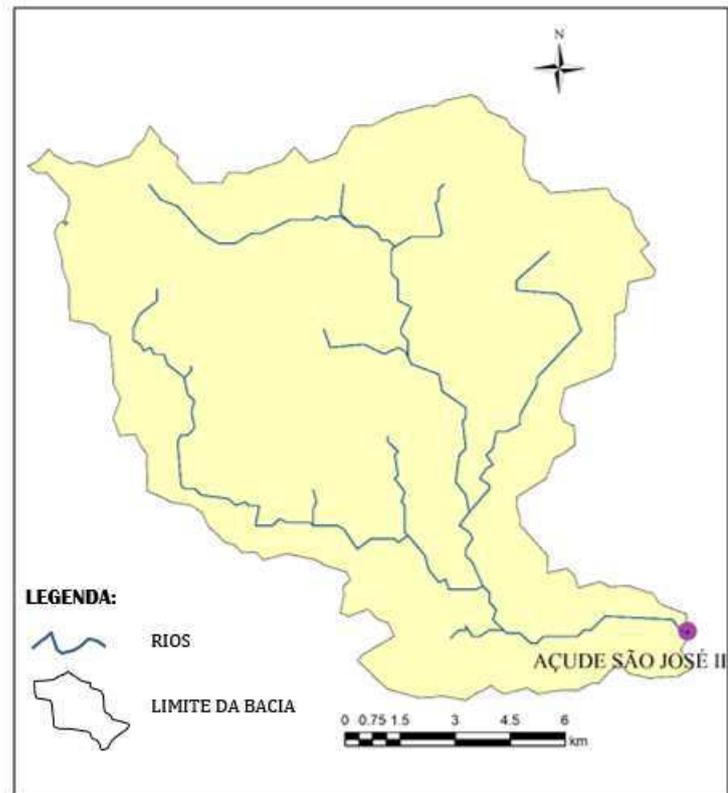
Figura 10 – Principais afluentes do rio Pajeú e alguns dos reservatórios instalados na bacia



Fonte: APAC (2018), adaptado pelo autor.

A bacia de drenagem do açude São José II compreende uma área de 175.965 km² e um perímetro de 73,4 km. Na Figura 11, tem-se uma ilustração da bacia de drenagem do açude.

Figura 11 - Bacia de drenagem do açude São José II



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A rede de abastecimento além de atender as necessidades da população da cidade, também abastece a um pequeno ramo, ao consumo para as zonas rurais e ao comércio. A cidade enfrentou em 2011 o início de escassez de água, em que a esperança de todos residiu em receber água da transposição do rio São Francisco. No ano de 2012, foi possível contar com a adutora do Rosário, a primeira adução a beneficiar São José do Egito. Dessa forma, foi possível sanar temporariamente a carência dos habitantes. Em 2016, a adutora do Rosário já não suportava mais abastecer São José do Egito e então surgiu a necessidade de recorrer à outra fonte. Assim, ainda em 2016, o município passou a ser atendido pela adutora do Pajeú, sem a qual os egipcenses teriam enfrentado sérios problemas.

A cidade possui pouca reserva subterrânea, como já esperado para uma região de embasamento cristalino. A população utiliza-se recorrentemente de mecanismos de armazenamento de água individual, prática comum em localidades que enfrentam limitações quanto à disponibilidade de água. Em zonas rurais, a construção de cisternas forneceu um conforto que trouxe qualidade de vida para os usuários, incentivados principalmente pela

política de auxílio oferecida pelo Programa Cisternas, financiado pelo Ministério de Desenvolvimento Social – MDS (MEDEIROS et al., 2011).

Em último caso, quando a escassez é extrema, a população recorre à compra de água por meio de carros-pipa, que realiza a venda através de uma quantidade de água por preços que variam de acordo com a oferta. Portanto, quanto maior a falta de água, mais oneroso será comprar o volume desejado. Para a parte mais carente da cidade é necessário a intervenção da gestão municipal para que todos possam ter acesso a este recurso. A situação tem um impacto ainda mais negativo em zonas rurais, já que este segmento do município tende a ser negligenciado.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados todos os dados necessários e os procedimentos seguidos para alcançar o objetivo deste estudo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento de água na cidade de São José do Egito é uma rede de distribuição de porte relativamente pequeno, proporcional ao tamanho do município. A captação da água realizada no açude São José II segue para a estação de tratamento localizada na periferia do centro urbano. A água tratada segue parte para distribuição das localidades no entorno e parte para um reservatório de distribuição que permite com que a região mais elevada do município consiga o devido fornecimento hídrico. O fornecimento de água é concessão da Companhia Pernambucana de Abastecimento (COMPESA).

4.2 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Os dados hidrometeorológicos utilizados neste estudo foram obtidos da base de dados disponibilizada pela Companhia Pernambucana de Abastecimento (COMPESA) por meio de solicitação de informações necessárias à pesquisa e pela Agência Pernambucana de Água e Clima - APAC através de seu Sistema de Geoinformação Hidrometeorológica.

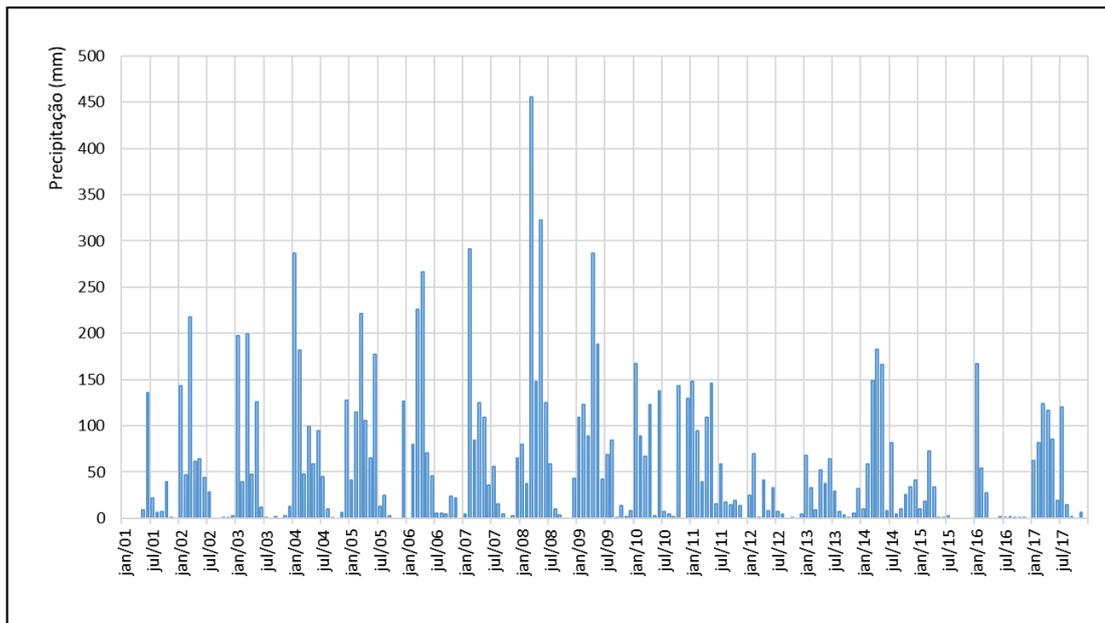
4.2.1 Precipitação

A série histórica de dados de precipitação encontra-se exibida na Tabela 1. Na Figura 12, a série é apresentada sob a forma de um gráfico de colunas. Os dados foram obtidos através do Sistema de Geoinformação Hidrometeorológica da APAC. A série compreende 17 anos (2001-2017).

Tabela 1 - Dados da série histórica de precipitação

Precipitação (mm)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Precip. anual
2001	0	0	0	0	9	136	22,1	6,5	7,2	39,3	0,2	0	220,3
2002	143	46,6	218	61,2	64,6	44,4	28,8	0	0	0,3	0,3	2,6	609,8
2003	197,9	39,4	199,2	47,8	125,8	11,6	1,1	0	1,6	0	2,5	13,2	640,1
2004	286,7	181,4	48	99,2	58,4	94,4	44,5	9,6	0,3	0	6,5	128,0	957,0
2005	41,1	115	221,6	105,8	65,2	176,9	12,9	25	2,5	0	0	126,4	892,4
2006	0	80	225,5	266,6	70,4	46,1	5,1	5,2	4,8	23,6	21,9	0	749,2
2007	4,2	291,4	84,5	124,7	109,5	36,2	56,1	15,5	4,4	0	2,6	65,3	794,4
2008	80,3	37,4	455,3	148	322	125	58,7	9,6	4	0	0	43,3	1283,6
2009	109,1	123,4	88,6	287	188,2	41,9	68,7	84,8	0,8	13,5	1,6	8,2	1015,8
2010	167,5	88,6	66,9	123,3	2,6	138,1	7,3	4,3	1,9	142,8	0	129,5	872,8
2011	147,5	94,3	39,4	109,3	145,8	15,4	59	17,1	14,8	18,8	13,8	0	675,2
2012	24,7	69,9	0,6	41,4	8,6	33,2	6,9	4,4	0	0,5	0	4,8	195,0
2013	67,6	33,3	9,1	52	37,2	64	28,9	7,3	3,8	0,5	5,8	32,0	341,5
2014	9,8	58,5	149,1	182,3	166	8,3	81,4	4,1	9,9	25,3	33,8	41,1	769,6
2015	10	18,6	72,2	34	0,6	1,2	2,4	0	0	0	0	0	139,0
2016	166,9	54,3	27,1	0	0	2,1	0,3	2	1	0,3	0,3	0	254,3
2017	62	82,1	123,8	116,5	85,1	19,1	120,5	15	2	0	6	0	632,1

Fonte: APAC (2018), adaptado pelo autor.

Figura 12 - Precipitação ao longo da série histórica (2001-2017)

Fonte: APAC (2018), adaptado pelo autor.

4.2.2 Evapotranspiração

Devido à ausência de dados de evapotranspiração para São José do Egito, os dados para o cálculo da evapotranspiração potencial foram provenientes da estação climatológica de Monteiro, na Paraíba. Como Monteiro está na mesma região climática de São José do Egito, a cidade foi tomada como referência para estes dados em específico.

Com os dados mensais de evapotranspiração para os anos de 2001 até 2017, obteve-se a média mensal como apresentado na Tabela 2.

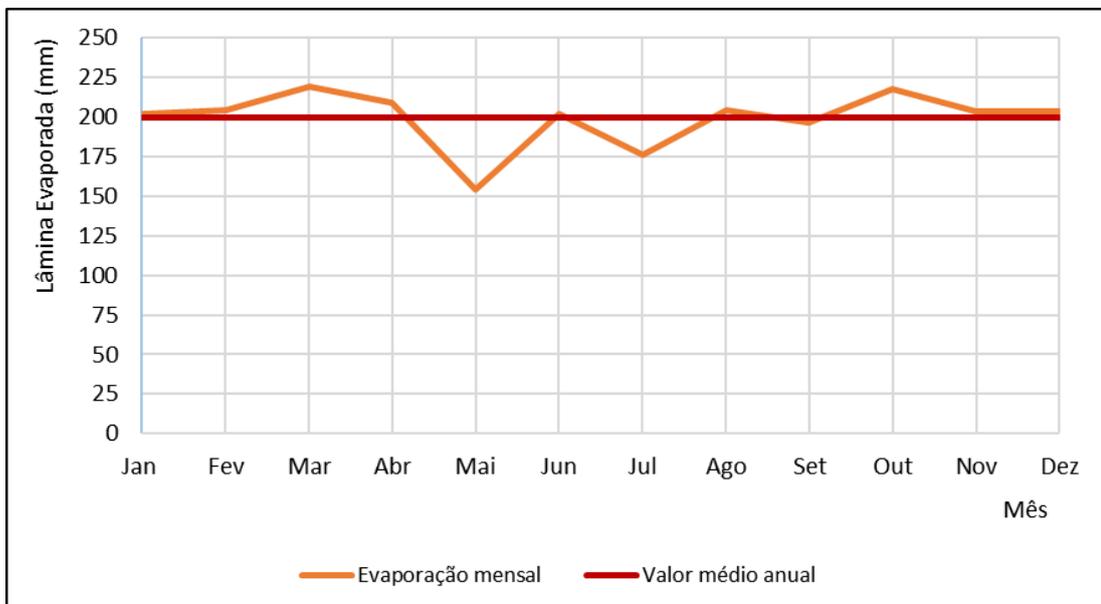
Tabela 2 - Evapotranspiração mensal média da série histórica

Evaporação mensal (mm)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
201,94	204,04	219,21	208,71	154,34	202,07	176,14	204,16	196,29	217,89	203,57	203,49

Fonte: INMET (2018), adaptado pelo autor.

A Figura 13 apresenta a média mensal da lâmina evaporada para a série de 17 anos considerada.

Figura 13 - Lâmina evaporada mensalmente



Fonte: INMET (2018), adaptado pelo autor.

4.2.3 Curva cota-área-volume

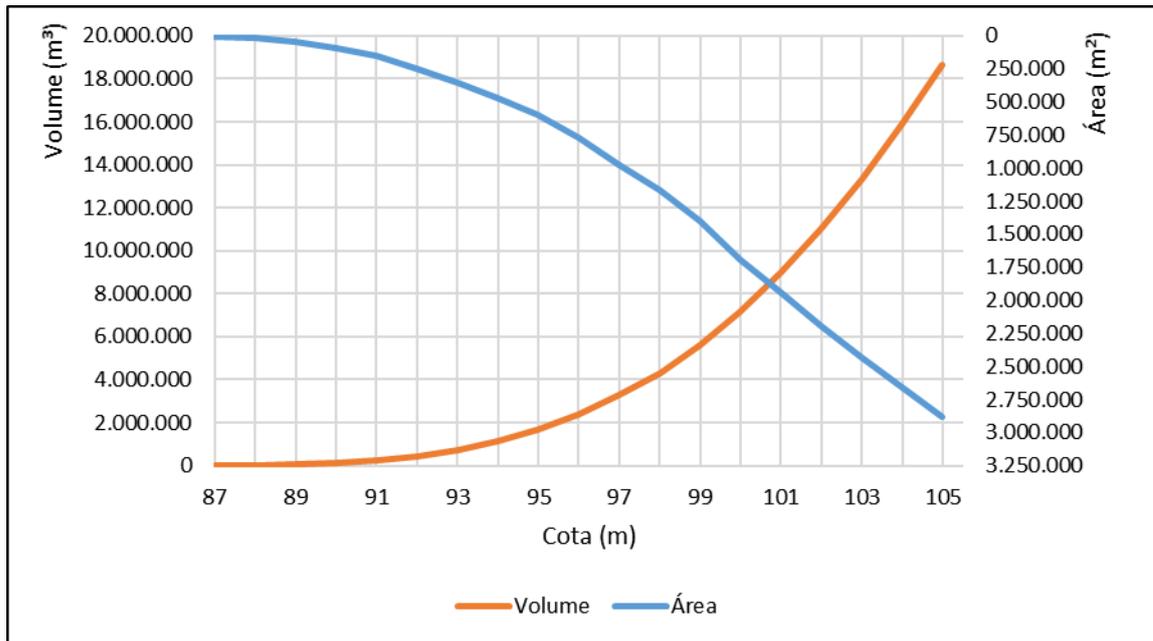
A curva cota-área-volume possibilita obter a relação entre cota, área e volume, sendo de muita utilidade no controle dos níveis do açude. A Tabela 3 fornece 19 pontos da curva C-A-V, apresentando para cada um, dados de cota, área e volume. A Figura 14 apresenta as curvas para o volume e para a área.

Tabela 3 - Pontos da curva C-A-V

Ponto da curva	Cota (m)	Área (m²)	Volume (m³)
1	87,00	5.000,00	2.000,00
2	88,00	18.500,00	13.750,00
3	89,00	44.500,00	45.250,00
4	90,00	91.000,00	113.000,00
5	91,00	153.250,00	235.125,00
6	92,00	251.500,00	437.500,00
7	93,00	357.000,00	741.750,00
8	94,00	472.000,00	1.156.250,00
9	95,00	598.500,00	1.691.500,00
10	96,00	775.750,00	2.379.625,00
11	97,00	975.500,00	3.253.250,00
12	98,00	1.168.500,00	4.324.250,00
13	99,00	1.397.250,00	5.607.125,00
14	100,00	1.694.250,00	7.152.875,00
15	101,00	1.944.000,00	8.972.000,00
16	102,00	2.194.000,00	11.041.000,00
17	103,00	2.431.750,00	13.353.879,00
18	104,00	2.657.250,00	15.898.375,00
19	105,00	2.876.500,00	18.665.250,00

Fonte: APAC (2018), adaptado pelo autor.

Figura 14 - Curva C-A-V



Fonte: APAC (2018), adaptado pelo autor.

4.2.4 Vazões afluentes

Devido à ausência de dados sobre vazões afluentes ao açude São José II, as vazões afluentes foram estimadas através da equação de balanço hídrico. Inicialmente foi calculada a variação mensal de volume (fornecidos pela ANA) e com os dados de evaporação, precipitação e retiradas, a vazão afluente para cada mês em cada ano entre janeiro de 2001 e dezembro de 2017, pôde ser estimada.

O volume de evaporação foi obtido por meio da Equação 6.

$$Evaporação (m^3) = Área (m^2) \times Lâmina Evaporada (m) \quad (6)$$

As retiradas foram obtidas pela Equação 7.

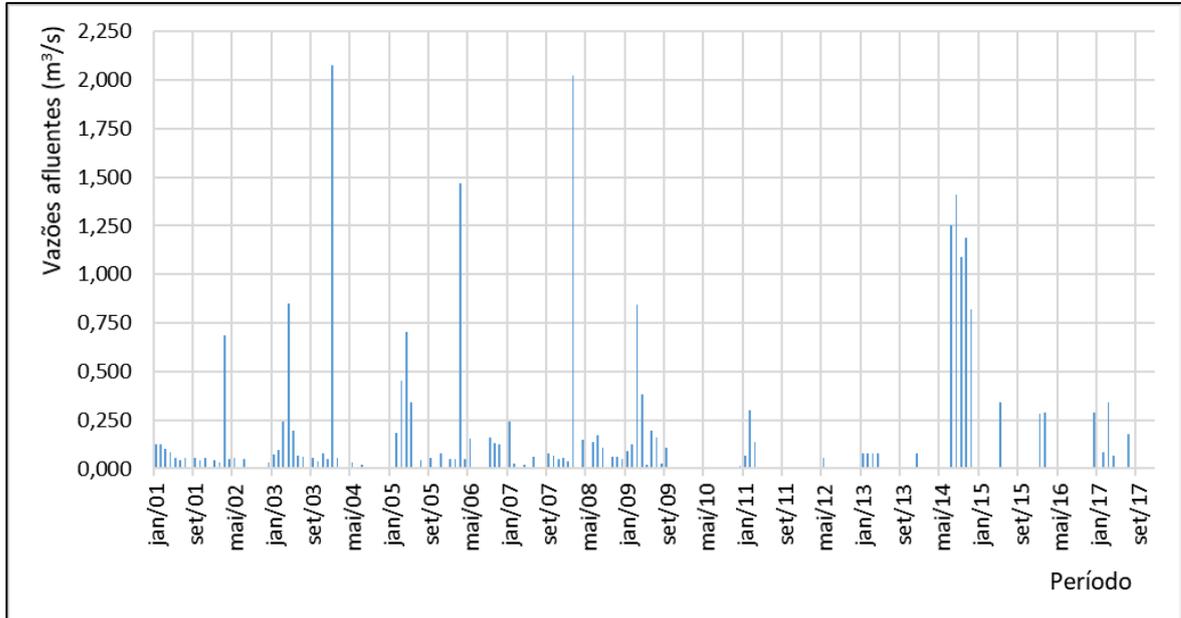
$$Retiradas (m^3) = Quantidade \ de \ dias \ em \ cada \ mês \times Demanda \left(\frac{m^3}{dia} \right) \quad (7)$$

A afluência pode então ser obtida pela equação 8.

$$Afluência (m^3) = Variação \ de \ volume (m^3) - Precipitação (m^3) + Retiradas (m^3) + Evaporação (m^3) \quad (8)$$

A Figura 15 apresenta as vazões afluentes estimadas para cada período considerado.

Figura 15 - Vazões afluentes estimadas do açude na série considerada (2001-2017)



Fonte: APAC (2018), adaptado pelo autor.

4.3 ESTIMATIVA POPULACIONAL

O estudo de estimativa do crescimento populacional utilizou-se dos dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os métodos utilizados para a projeção da estimativa são o método da projeção aritmética, o método geométrico e o método da regressão linear. Na Tabela 4, dispõe-se dos dados de população para o município informados pelo Instituto.

Tabela 4 - Dados da população fornecidos pelo IBGE

Ano	Habitantes
2017	33704
2010	31829
2007	30469
2000	29468
1996	28793

Fonte: IBGE (2017).

4.3.1 Método geométrico

Os valores para as estimativas obtidas através deste método foram calculados por meio da Equação 1. O resultado para a estimativa da população é apresentado na Figura 19.

4.3.2 Método aritmético

A obtenção da estimativa populacional através do método aritmético foi possível a partir da utilização da Equação 3. O resultado é também apresentado na Figura 19.

4.3.3 Método da regressão linear

A projeção por regressão linear foi realizada através da utilização do software Microsoft Excel[®]. O resultado é mostrado na Figura 19, comparado com os outros dois métodos apontados na metodologia.

4.4 DEMANDA HÍDRICA

Com as estimativas do crescimento populacional projetadas para um horizonte de 10 anos é possível calcular a demanda de água. Além dos cálculos de demanda para abastecimento doméstico, devem entrar neste balanço os valores relativos ao consumo com abastecimento industrial, para o comércio, agricultura entre outras finalidades. Considerou-se que a demanda aumentou linearmente com o aumento da população.

Segundo informações da COMPESA, a vazão de demanda para o açude São José II é atualmente de 74 l/s, valor que abrange todos os usos da água, desde abastecimento humano e agricultura até comércio e indústria. Conforme também informado, as perdas no sistema de abastecimento são baixas, já que a malha é relativamente pequena e constantemente monitorada. Portanto, o valor projetado engloba todos os destinos para a água.

4.5 OFERTA HÍDRICA

A oferta hídrica é obtida através da Planilha Hidro – Operações de Reservatórios com Base em Níveis de Alerta, versão 4.

4.5.1 *Projeção dos níveis futuros do reservatório*

A estimativa do comportamento futuro do reservatório é obtida tomando-se como referência uma série de anos com características em comum. A análise elaborada nesta pesquisa classificou as afluições anuais de São José do Egito de 2001 até 2017 em grupos de acordo com o valor atingido para cada ano. Dessa forma, denominou-se de anos chuvosos, os anos com afluição acima de 66% da capacidade máxima do reservatório. Classificou-se como anos normais, os anos com afluições entre 66% e 18% da capacidade máxima. Abaixo deste limite, os anos foram chamados de secos. A Figura 16 apresenta uma esquematização dos anos chuvosos, normais e secos.

Figura 16 - Esquema dos anos chuvosos, normais e secos



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Portanto, para simulações em que se idealiza uma sequência de anos secos, o ciclo seco é tomado como base para a estimativa do comportamento anual que as afluições dos anos em estudo deverão apresentar.

Segundo Souza e Manzi (2013), durante as próximas três décadas prevê-se um aumento na temperatura do ar de 0,5°C a 1,0°C e um decréscimo na precipitação entre 10% e 20% para o bioma da Caatinga. As simulações geradas para esta pesquisa alcançam um período de até 10 anos de projeção. Para aprimorar as estimativas geradas em cada cenário para os níveis futuros do reservatório, considerou-se uma redução de 10% em cada volume afluyente registrado na série considerada (2001-2017), objetivando-se reproduzir os efeitos do aumento da temperatura - e conseqüentemente do aumento da evaporação - e da diminuição da precipitação nos volumes afluentes ao manancial nos períodos de estudo.

4.5.2 Planilha Hidro

Para realizar as simulações, as seguintes planilhas foram utilizadas:

- Curva C-A-V: planilha de entrada dos pontos da curva C-A-V para o açude São José II;
- Dem, Afl, Evp: os valores de demanda para cada ano de projeção foram aqui considerados;
- Alerta: planilha de saída com a qual se obtêm os níveis futuros do reservatório para cada período de simulação considerado.

A Figura 17 apresenta a planilha de alerta utilizada para a obtenção das simulações.

Figura 17 - Planilha de alerta utilizada para a efetuação das simulações

As sequências dos dados de origem dos gráficos devem ser atualizadas após realizar mudanças nesta planilha.																	
Volume inicial		1629.193 m³															
Data inicial das séries históricas		Janeiro-23															
1	2	3		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Mês	Nº de dias do mês	Volume	Cota	Retenção % evp	Vol. parcial	Vazão Afluente	Acréscimo do Vol. Alburne	Demanda desejada	Demanda reduzida	Volume parcial 2	Demanda atendida	Cota 2	Retirada % evp	Volume do mês	Escassez	Volume extravasado	
		m³	m	Cons. Exp/2	m³	m³/s	m³	m³	m³	m³	m³	m	Cons. 2 Exp/2	m³		m³	
77	jan/23	31	1629.193	94.88	94.78	1575.148	0	209411.6	205.969	0	1793.559	0	95.13	95.03	1714.078	205.969	0
78	fev/23	28	1714.078	95.03	94.93	1654.457	0	195810.1	186.036	0	1850.067	0	95.23	95.13	1779.866	186.036	0
79	mar/23	31	1779.866	95.13	95.02	1704.443	0	225932.1	205.969	0	1920.435	0	95.33	95.22	1849.012	205.969	0
80	abr/23	30	1849.012	95.22	95.12	1773.201	0	202456	199.325	0	1976.857	0	95.41	95.31	1904.946	199.325	0
81	mai/23	31	1904.946	95.31	95.23	1851.745	0	205921.4	205.969	0	2.060.688	0	95.54	95.46	2.007.555	205.969	0
82	jun/23	30	2.007.555	95.46	95.06	1938.040	0	0	199.325	0	1938.040	0	95.36	95.26	1.889.515	199.325	0
83	jul/23	31	1.889.515	95.26	95.17	1.907.911	0	0	205.969	0	1.807.911	0	95.17	95.08	1.747.307	205.969	0
84	ago/23	31	1.747.307	95.08	94.98	1.680.271	0	0	205.969	0	1.680.271	0	94.98	94.88	1.625.633	205.969	0
85	set/23	30	1.625.633	94.88	94.78	1.573.102	0	0	199.325	0	1.573.102	0	94.78	94.68	1.520.571	199.325	0
86	out/23	31	1.520.571	94.68	94.57	1.462.260	0	0	205.969	0	1.462.260	0	94.57	94.48	1.403.940	205.969	0
87	nov/23	30	1.403.940	94.48	94.36	1.349.467	0	0	199.325	0	1.349.467	0	94.36	94.26	1.294.888	199.325	0
88	dez/23	31	1.294.888	94.26	94.16	1.240.527	0	0	205.969	0	1.240.527	0	94.16	94.06	1.186.067	205.969	0
89	jan/24	31	1.186.067	94.06	93.95	1.137.488	0	0	205.969	0	1.137.488	0	93.95	93.85	1.096.635	205.969	0
90	fev/24	29	1.096.635	93.85	93.75	1.053.345	0	0	192.691	0	1.053.345	0	93.75	93.65	1.010.662	192.691	0
91	mar/24	31	1.010.662	93.65	93.54	985.630	0	0	205.969	0	985.630	0	93.54	93.43	920.180	205.969	0
92	abr/24	30	920.180	93.43	93.33	876.942	0	0	199.325	0	876.942	0	93.33	93.22	833.696	199.325	0
93	mai/24	31	833.696	93.22	93.14	801.700	0	0	205.969	0	801.700	0	93.14	93.07	759.714	205.969	0
94	jun/24	30	759.714	93.07	92.97	731.536	0	0	199.325	0	731.536	0	92.97	92.87	700.796	199.325	0
95	jul/24	31	700.796	92.87	92.78	674.000	0	0	205.969	0	674.000	0	92.78	92.69	647.204	205.969	0
96	ago/24	31	647.204	92.69	92.59	616.147	0	0	205.969	0	616.147	0	92.59	92.49	565.059	205.969	0
97	set/24	30	565.059	92.49	92.39	555.229	0	0	199.325	0	555.229	0	92.39	92.29	525.369	199.325	0
98	out/24	31	525.369	92.29	92.18	492.224	0	0	205.969	0	492.224	0	92.18	92.07	459.078	205.969	0
99	nov/24	30	459.078	92.07	91.97	431.254	0	0	199.325	0	431.254	0	91.97	91.87	410.695	199.325	0
100	dez/24	31	410.695	91.87	91.77	390.064	0	0	205.969	0	390.064	0	91.77	91.66	354.473	205.969	0

Fonte: print screen da Planilha Hidro (2018).

4.6 CENÁRIOS ANALISADOS

As considerações para os três cenários idealizados são apresentadas a seguir.

4.6.1 Cenário 1

Para o cenário 1, foram considerados uma sequência de três anos chuvosos (2019-2021), três anos normais (2022-2024) e três anos secos (2025-2027). Este é um cenário otimista para a cidade, já que seriam seis anos consecutivos de chuva, iniciando-se com um triênio chuvoso. Este é um cenário importante para analisar o comportamento do reservatório em épocas de bonança e o quanto os níveis podem variar entre fases de abundância e escassez.

4.6.2 Cenário 2

Para o cenário 2, projetou-se um ciclo normal de três anos (2019-2021) e em seguida três anos secos (2022-2024). Ao término deste, um ciclo normal de dois anos (2025-2026) ocorre e ao final, um ano chuvoso (2027). Este é um cenário mais realista para o município, em que anos de precipitação mediana acontecem, seguidos de anos secos. Ao fim, um ano de ciclo chuvoso recupera os níveis do açude. Por ser um cenário mais realista, esta configuração de simulação permite analisar os níveis do reservatório e tomar medidas que assegurem a continuidade do abastecimento de água.

4.6.3 Cenário 3

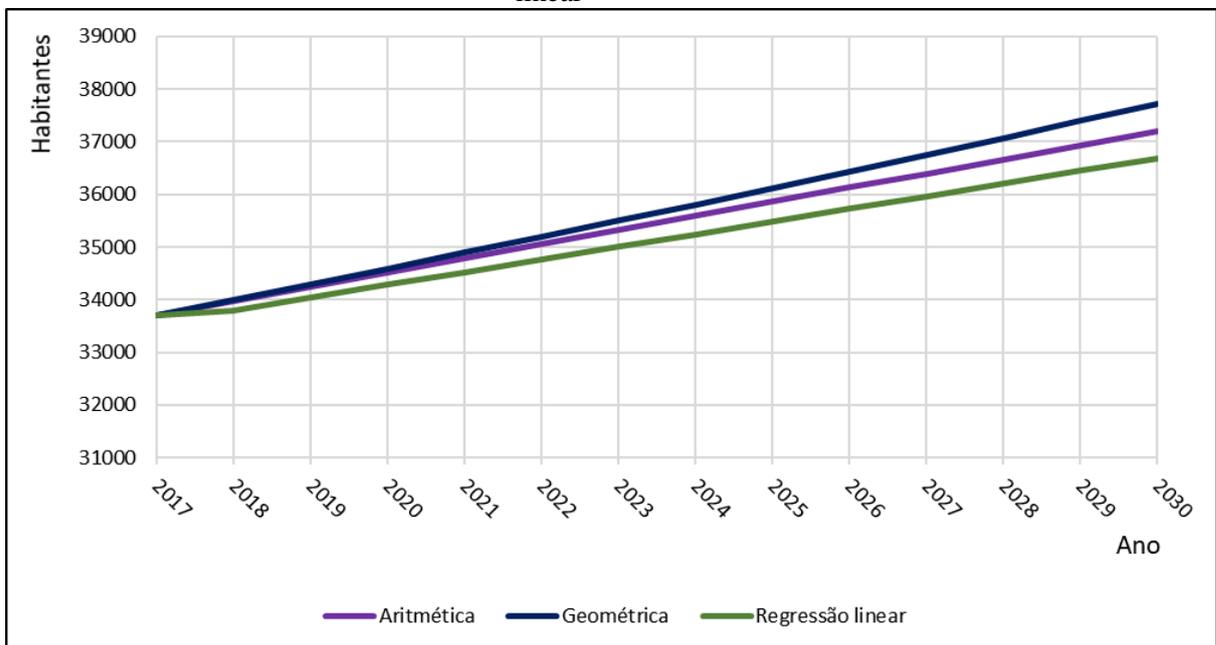
O cenário 3 é o mais curto de projeção entre os citados. Foram considerados dois anos normais (2019-2020), seguidos por um ano chuvoso (2021) e finalizado com dois anos secos (2022-2023). Este cenário tem o objetivo de observar o comportamento do reservatório em um curto prazo de observação, o que seria útil para estipular medidas de operação do reservatório úteis para aumentar a capacidade de abastecimento nos próximos anos. Os últimos dois anos são secos para sempre trabalhar com a hipótese de escassez a fim de se poupar água nos anos mais abastados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTIMATIVAS POPULACIONAIS

Para a projeção de 10 anos da população, foram realizadas estimativas populacionais futuras através de três métodos, são eles: método aritmético, método geométrico e regressão linear. Na Figura 18 são mostradas as estimativas obtidas para cada um dos métodos.

Figura 18 - Projeções populacionais obtidas pelos métodos aritmético, geométrico e de regressão linear



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As curvas em azul, roxo, e verde representam as estimativas para os métodos geométrico, aritmético e regressão linear ao longo de 13 anos, partindo da estimativa disponibilizada para o ano de 2017 pelo IBGE. Através da análise da Figura 19, percebe-se que o método geométrico projeta um maior número de habitantes, enquanto que o método de regressão linear apresenta os menores valores para a quantidade de habitantes esperados ao longo de cada ano para a cidade. Dessa forma, optou-se pelo método aritmético, com uma perspectiva mediana, de modo a não superestimar e nem subestimar a população futura de São José do Egito. O mesmo método foi utilizado para projetar o número de habitantes atendidos com abastecimento de água.

Na Tabela 5, os valores obtidos para a projeção aritmética são dispostos em função de cada ano futuro.

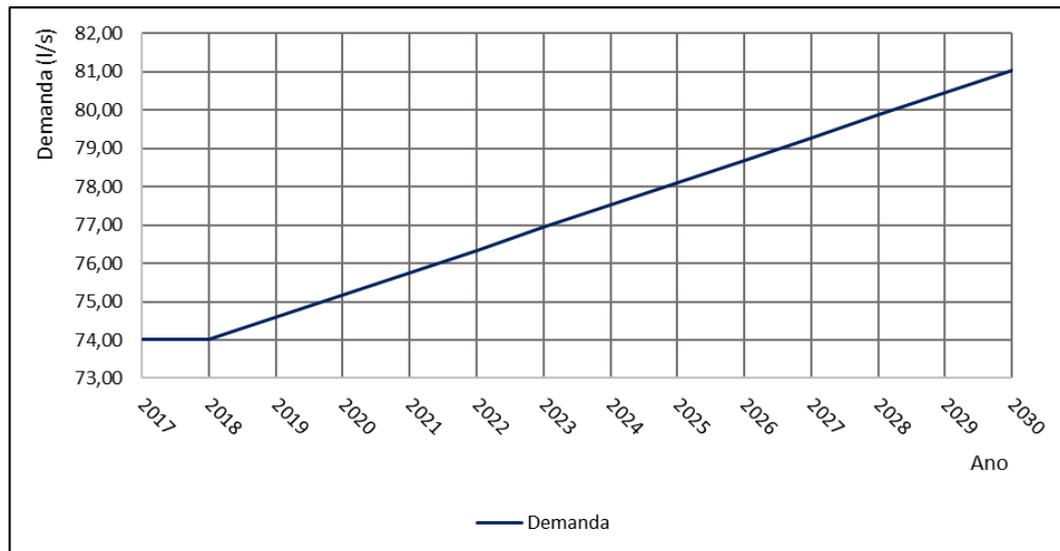
Tabela 5 - Projeção populacional obtida pelo método aritmético

Ano	População Total	População atendida com abastecimento de água
2017	33.704	25.628
2018	33.973	26.202
2019	34.243	26.776
2020	34.512	27.350
2021	34.782	27.924
2022	35.051	28.498
2023	35.320	29.072
2024	35.590	29.646
2025	35.859	30.220
2026	36.129	30.794
2027	36.398	31.368
2028	36.667	31.942
2029	36.937	32.516
2030	37.206	33.090

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

5.2 ESTUDO DA DEMANDA DE ÁGUA

Com os dados futuros da população, é possível obter também uma estimativa da demanda futura. Considerou-se que o consumo cresce linearmente com o aumento da população, resultando assim em um crescimento no consumo conforme acontece o crescimento da população, proporcionando conseqüentemente um aumento na demanda. Na Figura 19, observa-se a projeção da demanda até 2030.

Figura 19 - Projeção da demanda até 2030

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As estimativas para a demanda possibilitam simular o comportamento dos volumes de retirada ao longo dos anos de cada cenário idealizado, permitindo um panorama dos níveis do reservatório para o período de interesse.

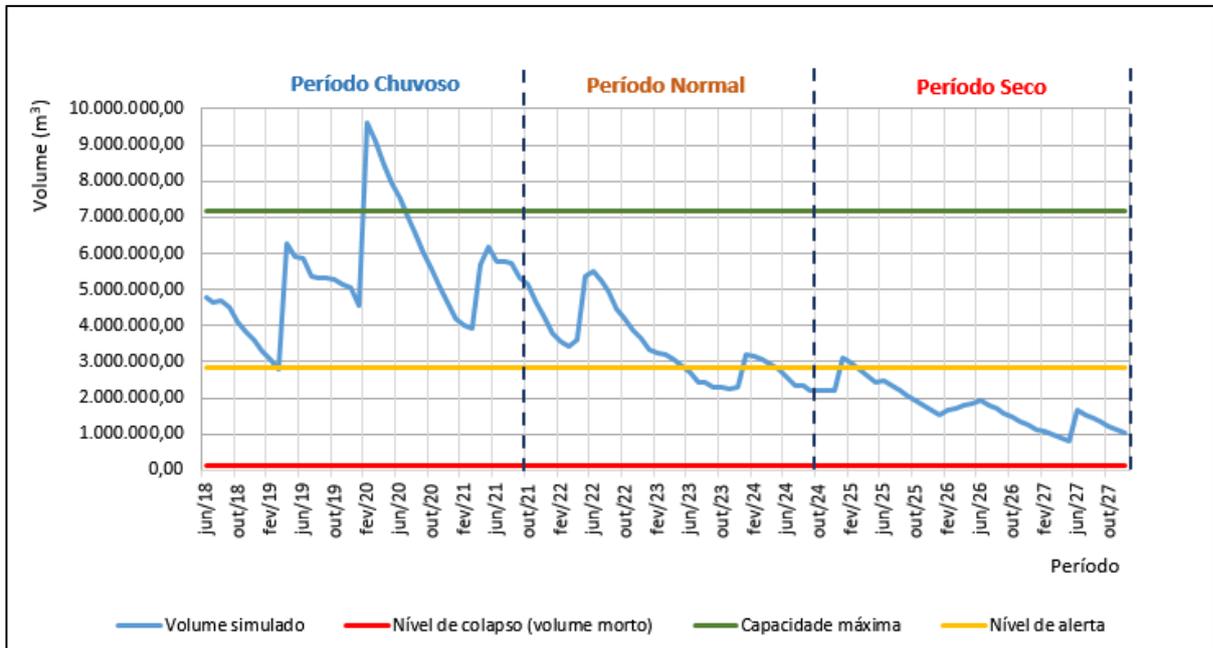
5.3 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Elaboraram-se três cenários de simulação, de forma a obter um modelo de como o açude se comporta em cada situação ensaiada e qual o impacto que cada cenário simulado terá para a população egípcia no futuro. Obtém-se cada cenário com o auxílio da planilha Hidro para cada consideração.

5.3.1 Cenário 1

A Figura 20 apresenta o comportamento do açude São José II em uma sequência de três anos chuvosos (2019-2021), seguidos por três anos normais (2022-2024), finalizando o ciclo com três anos secos (2025-2027).

Figura 20 – Cenário 1 de simulação



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A curva em azul representa o volume simulado para cada período, conforme indicado na imagem. A capacidade máxima de 7.152.875 m³ está marcada pela cor verde. O nível de colapso, o volume morto, de 113.000 m³ está na cor vermelha. O nível de alerta, definido como 40% da capacidade máxima (2.861.850 m³), está na cor amarela.

Esta é uma abordagem otimista para São José do Egito, já que há uma sequência de seis anos de chuva, em princípio com os três mais chuvosos, seguidos de três anos normais. Dentro dos nove anos de análise, o primeiro ponto onde o açude atinge o nível de alerta é no final de 2018, enquanto ainda está tendo redução de volume e com o início do período chuvoso, os níveis aumentam, até que seja ultrapassada a capacidade máxima, em valores superiores a 9 milhões de metros cúbicos.

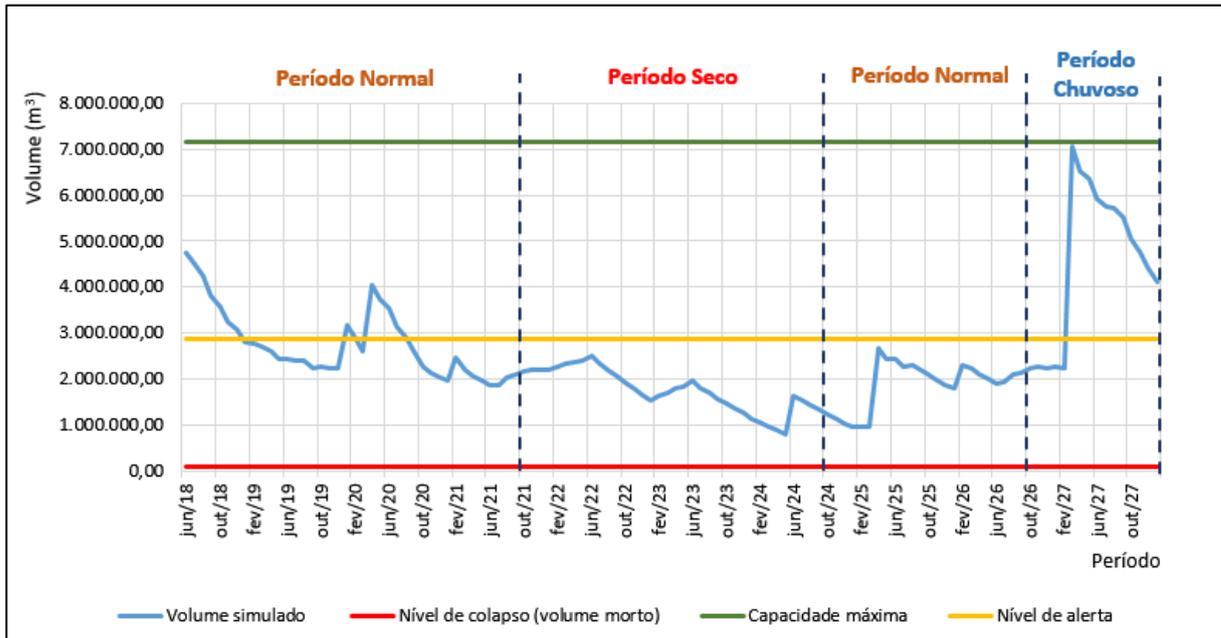
O segundo, terceiro e quarto pontos onde o volume simulado atinge o nível de alerta estão no período normal estimado. Há uma breve recuperação em fevereiro de 2024, mas há uma queda para níveis abaixo do nível de alerta aproximadamente em junho de 2024, comportamento esperado, já que em 2025 se inicia um triênio seco. O período seco caracteriza uma configuração esperada para o açude. Em anos com esse perfil, há uma redução significativa do volume hídrico, havendo a necessidade de racionamento. Embora otimista esta abordagem

para uma região do semiárido brasileiro, esta simulação demonstra como a recuperação hídrica eleva os níveis do reservatório e como o manancial é também vulnerável durante épocas de estiagem. Esta simulação evidencia a importância de uma eficiente gestão de recursos hídricos para evitar o colapso do sistema de abastecimento da cidade.

5.3.2 Cenário 2

A Figura 21 exibe a simulação de um período de três anos (2019-2021) de chuva de afluências medianas - ciclo normal, seguidos de três anos secos (2022-2024), dois anos normais (2025-2026), finalizando com um ano chuvoso (2027).

Figura 21 - Cenário 2 de simulação



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

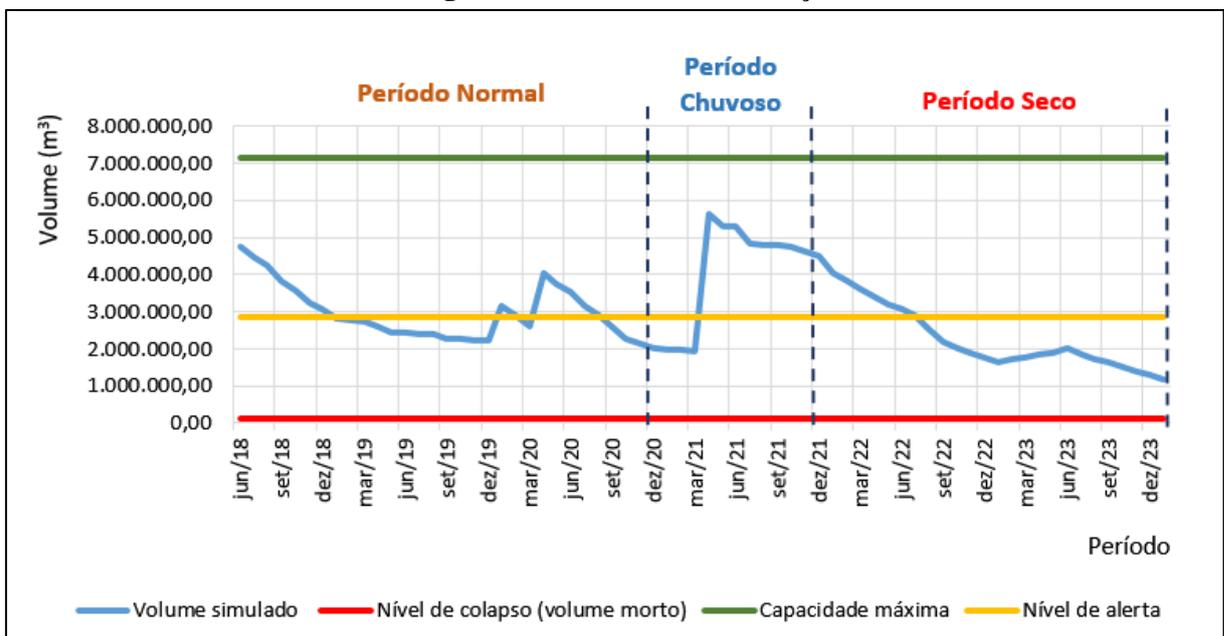
Esta é uma simulação com maiores variações na sequência de anos analisada, demonstrando a aplicabilidade da planilha Hidro para diferentes composições de afluências. Esta é uma combinação que reflete a predominância de baixas a moderadas afluências da região: um período normal seguido de um período seco, retomado por um normal e recuperando-se com um período chuvoso. Há predominância de temporadas abaixo do nível de alerta ($2.861.850 \text{ m}^3$), em que o açude ganha uma recuperação a partir de 2027 com o ciclo chuvoso. Mesmo com este cenário estando em alerta na maior parte dos períodos analisados, a demanda

é atendida, o que garante disponibilidade hídrica para os habitantes, mas é preciso cautela e medidas para o uso responsável da água, do contrário haverá o colapso do sistema.

5.3.3 Cenário 3

A Figura 22 apresenta o volume simulado para o reservatório diante de um período normal de dois anos (2019-2020), um ano chuvoso (2021) e por fim, dois anos secos (2022-2023).

Figura 22 - Cenário 3 de simulação



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Esta é a simulação com menor tempo de análise: apenas cinco anos. Quanto menor o espaço temporal analisado, menor será a alteração em variáveis como temperatura, evaporação e precipitação. Dessa forma, a estimativa para o comportamento do reservatório será ainda mais confiável.

O período normal apresenta uma tendência a permanecer inferior ao nível de alerta do reservatório, o que é superado com o período chuvoso, responsável por atingir o maior nível para a simulação com o valor de 5.650.000 m³, representando 79% da capacidade máxima. O nível mais baixo atingido corresponde a 1.294.986 m³, cerca de 18% do limite máximo. A demanda é atendida e o volume morto não é alcançado em nenhum momento. Durante períodos

abaixo do nível de alerta é importante haver o estrito controle do consumo de água, com a finalidade de se evitar o colapso do manancial.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em todos os cenários de simulação, em nenhum dos períodos de seca o reservatório atingiu o volume morto. Em todas as situações analisadas, em algum momento o açude atinge o nível de alerta definido (40% da capacidade máxima) e a importância de se delimitar um nível de alerta se faz sentir: ao alcançar este nível, tem-se um aviso de que é necessário diminuir os níveis de consumo e priorizar determinados setores de abastecimento, como o humano. Portanto, entende-se que o açude São José II tem uma boa capacidade de abastecimento dentro das estimativas feitas.

Durante a coleta de dados, um problema bastante significativo foi a ausência de informações de muitas variáveis importantes, como os volumes afluentes e os dados de evaporação. Além disso, algumas informações estavam ausentes, como o número de perdas existentes na malha de abastecimento da cidade e o quanto cada setor consome individualmente, como o industrial ou o de agricultura. Estes problemas são comuns em reservatórios de localidades pequenas, porém é preciso salientar que para que possa acontecer uma eficiente operação do manancial, é necessário que todos os fatores que influenciam sobre ele sejam monitorados.

A pesquisa constitui uma primeira abordagem sobre o controle dos níveis futuros do açude São José II, podendo ser mais bem trabalhada sob outros enfoques, como a utilização de metodologias diferentes, porém a falta de informações é como um obstáculo para aprimorar o estudo. A estimativa dos dados acaba por não representar fielmente a realidade, mas a relevância da pesquisa é pontuada pela necessidade em diminuir os danos provocados pela falta de água, que em muito prejudica os nordestinos. Todas estas oportunidades de se caracterizar melhor pequenas localidades do semiárido acabam sendo perdidas pela falta de monitoramento.

6 CONCLUSÃO

Os cenários de simulação permitem conhecer o comportamento dos níveis do açude desde situações de abundância até a escassez hídrica. Isto possibilita obter uma estimativa dos próximos volumes do reservatório e é um meio de planejar as políticas de gestão para o manancial. Dessa forma, é uma excelente alternativa para o açude São José II para o controle de seus níveis e para estabelecer níveis de alerta mais rigorosos. Aumentar a fiscalização sobre as formas de uso da água, bem como das perdas na rede de abastecimento são medidas necessárias e importantes.

O açude São José II apresenta uma boa capacidade de atendimento para a cidade, porém necessita de uma otimização da operação do reservatório com a finalidade de estender o abastecimento durante estiagens. Cabe ainda destacar a importância da sociedade para efetivar uma gestão integrada no sentido de promover a conscientização da população no uso responsável da água. Dessa forma, a gestão deve ser proativa, antecipando-se à existência dos problemas, procurando evitá-los ou suavizá-los. É preciso ainda aumentar a fiscalização dos usos indevidos da água e também das perdas existentes na rede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. **Usos da Água**. 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/usos-da-agua/outros-usos>>. Acesso em: 17 jul. 2018.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacia do Rio Pajeú**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=20>. Acesso em: 18 mar. 2018.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.
- ARAÚJO, JC de. **Recursos hídricos em regiões semiáridas. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, p. 30-43, 2012.
- BACALHAU, José Ráurium. **Simulação da disponibilidade hídrica e operação de reservatórios de abastecimento em relação à variabilidade Climática: bacia do rio Pirapama em Pernambuco**. 2015.
- BRASIL. Lei 9.433, de 08.01.1997: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 08 jan. 1997. Acesso em 10 de jul. 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco**. Brasília, DF, 2006.
- BRITO, Luana Paula Gentil de; CAVENAGHI, Suzana Marta; DE MARTINO JANNUZZI, Paulo. **Avaliação da precisão de estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: Rio de Janeiro, 2000 e 2007**. Anais, p. 1-23, 2016.
- CIRILO, José Almir et al. O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Recife: UFPE, 2007.
- Climate Data**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42595/>>. Acesso em: 13 maio 2018.
- DADALTO, Gilmar Gusmão et al. Tecnologias de conservação e armazenamento de água em propriedades rurais. **Governo do Estado do Espírito Santo**, p. 42.
- E. VIVAS, R. MAIA - **Recursos Hídricos e Ambiente**, Porto, Portugal, 2008.
- FERREIRA, Gabriel Luis Bonora Vidrih; FERREIRA, Natália Bonora Vidrih. **Fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos**. XIII SIMPEP, Bauru, SP. 06-08. nov. 2006.
- GHEYI, Hans Raj et al. Recursos hídricos em regiões semiáridas. **Cruz das Almas, BA: Instituto Nacional do Semiárido da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia**, 2012.
- GUIMARÃES, AJA; CARVALHO, D. F.; SILVA, LDB. Saneamento básico, ago. 2007. **Notas de aula IT**, v. 179.

HEIN, Márcia. **Espacialização de Duas Microbacias Hidrográficas do Rio Piracicaba para Modelagem Hidrológica**. 307 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2000.

Hidro – Operação de reservatórios com base em níveis de alerta: planilha eletrônica. Versão 4, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

LOPES, João Eduardo G.; SANTOS, Raquel Chinaglia P. **Capacidade de Reservatórios**. São Paulo, 2002. 64 p. Apostila.

MEDEIROS, Flaviani Souto Bolzan; BIANCHI, Renata Coradini. A aplicação do método regressão linear simples na demanda de produtos sazonais: um estudo de caso. **Disciplinarum Scientia Socialis Aplicadas**, v. 5, n. 1, p. 35-53, 2009.

MEDEIROS, Salomão de Sousa et al. **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas**. Campina Grande, Pb: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 470 p.

NAGHETTINI, Mauro. **Introdução à Hidrologia Aplicada**. Agosto de 2012. 269 p. Notas de Aula.

NETTO, Antenor de Oliveira Aguiar. **Noções de hidrologia**. Março de 2017. 46 p. Notas de Aula.

OLIVEIRA, Klecia Forte de; GALVÃO, Carlos de Oliveira. **Planilha Hidro – Operação de reservatórios com base em níveis de alerta: Manual do usuário**. Versão 4. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2004. 18 p.

OLIVO, Andréia de Menezes; ISHIKI, Hamilton Mitsugu. Brasil frente à escassez de água. In: **Colloquium Humanarum**. ISSN: 1809-8207. 2015. p. 41-48.

PERH-PERNAMBUCO, S. R. H. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Secretaria de Recursos Hídricos**, v. 1, 1998.

PINTO, N. L. S. et al. – **Hidrologia Básica** – Ed. Blücher, 1976.

PORTO, R. L. L. **Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo. Cap 4 do Livro: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Organizado por Rubem La Laina Porto, escrito por Luiz Gabriel T. de Azevedo – Editora UFRGS – ABRH, Porto Alegre – 1997.

REIS, Camilo Carvalhal Teixeira dos. **Determinação das Vazões de Contribuição para o Canal da Avenida Dr. Airton Teles Utilizando um Sistema Chuva Vazão**. 67 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, 2011.

RIGHETTO, Antonio Marozzi. Operação ótima de sistema urbano de distribuição de água. **Seminário-Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água: O Estado da Arte e Questões Avançadas**, 2002.

ROSA, A.; FONTENELE, R.; NOGUEIRA, C. **Estimativa da demanda de água residencial urbana no Estado do Ceará**. 30º EnANPAD. Salvador/BA. Set/2006. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos_discussao/TD_6.pdf. Acesso em 18/07/2018.

ROSA, Mayra. **Sertão nordestino enfrenta seca e população depende de apoio governamental**. 2012. Disponível em: http://ciclovivo.com.br/planeta/meio-ambiente/sertao_nordestino_enfrenta_seca_e_populacao_depode_de_apoio_governamental/>. Acesso em: 27 jul. 2018.

SANTOS, Rubens Hayran Cabral dos; DE MEDEIROS, Luísa Eduarda Lucena; BARBOSA, Dayse Luna. **SIMULAÇÃO HÍDRICA PARA O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE GUARABIRA/PB**.

SILVA, Benedito Cláudio da; CLARKE, Robin T. Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Porto Alegre, RS, v. 19, n. 3, p.265-272, abr. 2004.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. org. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade UFRGS, 2001.

SOARES, Edmilson. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Revista Geografias**, v. 9, n. 2, p. 75-86, 2013.

SOUZA, Adilson Pacheco et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

SOUZA, Everaldo B.; MANZI, Antonio Ocimar. Mudanças ambientais de curto e longo prazo: projeções, reversibilidade e atribuição. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do PBMC**. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

USGS - United States Geological Survey. Disponível em: <https://www.usgs.gov/>>. Acesso em: 18 mar. 2018

UVO, Cintia Regina Bertacchi; NOBRE, Carlos Afonso; CITEAU, Jean. **Análise da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico Equatorial e sua relação com a precipitação no Nordeste do Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 1988. p. 7-11.

VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** (2a ed. rev., vol. 1, p.60). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.