



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E SOCIAIS – CCJS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS CONTÁBEIS – UACC**  
**CURSO DE ADMINISTRAÇÃO**

**LUANA ANDRADE DE AMORIM**

**ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SISTEMA COREMAS**  
**–**  
**MÃE D' ÁGUA LOCALIZADO NO SERTÃO DA PARAÍBA**

**SOUSA – PB**

**2019**

**LUANA ANDRADE DE AMORIM**

**ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SISTEMA COREMAS  
MÃE D' ÁGUA LOCALIZADO NO SERTÃO DA PARAÍBA**

Artigo Científico apresentado ao Curso de Administração do Centro de Ciências Jurídicas e Sociais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para para obtenção do título de Bacharel em Administração.

**Orientador:** Prof. Dr. Allan Sarmento Vieira.

**SOUSA-PB**

**2019**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE  
Biblioteca Setorial de Sousa UFCG/CCJS  
Bibliotecária – Documentalista: MARLY FELIX DA SILVA – CRB 15/855

A524a Amorim, Luana Andrade de.  
Análise quantitativa dos recursos hídricos no Sistema Coremas Mãe D'água localizado no Sertão da Paraíba. / Luana Andrade de Amorim. - Sousa: [s.n], 2019.

44 fl.:il. Col.

Artigo Científico (Curso de Graduação em Administração) – Centro de Ciências Jurídicas e Sociais - CCJS/UFCG, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Allan Sarmento Vieira.

1. Recursos Hidricos. 2. Reservatórios. 3. Rede de Fluxo Acquanet.  
4. Procedimento de Contabilidade da Umidade do Solo - SMAP. I.  
Título.

**LUANA ANDRADE DE AMORIM**

**ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SISTEMA COREMAS  
MÃE D' ÁGUA LOCALIZADO NO SERTÃO DA PARAÍBA**

Artigo Científico aprovado em: 08/07/2019

---

Prof.º Dr. Allan Sarmiento Vieira

**Orientador**

---

Prof. Dra. Maria de Fátima Nobrega Barbosa

**Examinador(a)**

---

Dra. Sheylla Maria Mendes

**Examinador(a)**

# ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SISTEMA COREMAS – MÃE D' ÁGUA LOCALIZADO NO SERTÃO DA PARAÍBA

## RESUMO

A água é um recurso vital à vida, porém a realidade de escassez à água em quantidade e de qualidade ainda é distante de um cenário ótimo. Para tanto, o gerenciamento adequado dos recursos hídricos são indispensáveis na busca da racionalidade, fazendo-se necessário o uso de ferramentas que auxiliem no processo de tomada de decisões, como os modelos matemáticos. É diante desse contexto que essa pesquisa tem como objetivo principal analisar de forma quantitativa a situação hídrica do sistema Coremas - Mãe de Água, localizados no município de Coremas - PB, respectivamente, situados na Bacia Hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu, utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet. Foi também utilizado para a obtenção dos valores das vazões naturais de 1963 a 2018, o modelo do tipo transformação chuva-vazão - SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*). Na análise da simulação da série histórica de 1963 a 2018, nos dois reservatórios, o volume meta foi respeitado na maioria dos meses, e o volume máximo foi alcançado nos períodos de chuvas mais abundantes. Ocorreram períodos em que se chegou ao volume mínimo, devido às poucas chuvas, fato que se tornou mais presente nos últimos anos. Quanto às demandas na simulação do cenário 1 como dois reservatórios separados, o comportamento foi similar para o abastecimento humano, a irrigação, indústria e piscicultura onde apresentaram garantias acima dos 95%, já para a dessedentação animal, a confiabilidade ficou em torno de 97%, porém nenhuma delas teve garantia plena de seu atendimento, ou seja, nenhuma apresentou 100%, ocorrendo falhas para todas as demandas no reservatório Coremas e Mãe de Água. Já na simulação do cenário 2 como um único reservatório, nos mesmos períodos chuvosos e de estiagem, todas as demandas atreladas ao sistema, abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria e piscicultura, obtiveram confiabilidade de 100%. Portanto o sistema Coremas-Mãe d'água, apesar da crise hídrica vivenciada, é considerado como sustentável.

**Palavras-Chaves:** Recursos Hídricos; reservatórios; ACQUANET; SMAP.

## ABSTRACT

Water is a vital resource for life, but the reality of water scarcity in quantity and quality is still far from an optimal scenario. For this, the adequate management of water resources is indispensable in the search for rationality, making necessary the use of tools that aid in the decision-making process, such as mathematical models. It is in this context that this research has as main objective to analyze the water behavior of the Coremas and Mãe de Água reservoirs, located in the city of Coremas - PB, respectively, located in the Piancó-Piranhas-Açu River Basin, using the network model of flow Acquanet. It was also used to obtain the natural flow values from 1963 to 2018, the Soil Moisture Accounting Procedure (SMAP). In the analysis of the simulation of the historical series from 1963 to 2018, in the two reservoirs, the target volume was observed in most of the months, and the maximum volume was reached in the periods of more abundant rainfall. There were periods when the minimum volume was reached, due to the few rains, a fact that has become more present in recent years. As for the demands in the scenario 1 simulation as two separate reservoirs, the behavior was similar for human supply, irrigation, industry and fish farming where they presented guarantees above 95%, for animal feed, reliability was around 97%, but none of them had full guarantee of their service, that is, none presented 100%, occurring failures for

all the demands in the reservoir Coremas and Mãe de Água. In the simulation of scenario 2 as a single reservoir, in the same rainy and drought periods, all the demands linked to the system, human supply, animal watering, irrigation, industry and fish farming, obtained 100% reliability. Therefore, the Coremas-Mãe d'água system, despite the water crisis experienced, is considered sustainable.

**Keywords:** Water resources; reservoirs, ACQUANET; SMAP

## 1.0 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos encontram-se no centro dos temas ambientais mais discutidos na atualidade, e está presente nas diversas áreas do conhecimento devido o seu caráter interdisciplinar. Essa apreensão com a água se deve ao aumento da demanda em quantidade e qualidade, causando conflitos entre os que desfrutam em especial nas regiões onde a escassez desses recursos é mais severa.

O Brasil é destaque mundial, por possuir uma das maiores reservas hídricas do planeta, porém tem sofrido com vários conflitos pelo uso da água. O que requer um planejamento e um gerenciamento que possa proporcionar uma melhor exploração deste recurso, visto que o grande problema está em ser capaz de atender as demandas dos inúmeros usos, sejam domésticos, na agricultura, indústria, entre outros. Além de utilizarem de forma irracional, ainda vivenciamos a poluição dos mananciais, o que torna os recursos hídricos escassos tanto em quantidade como em qualidade. Com isso, é evidente a necessidade de diminuir os níveis de escassez hídrica, com a aplicação de tecnologias inovadoras que promovam o uso racional desse recurso valioso para a sociedade.

No Nordeste, para amenizar os problemas relacionados à escassez de água, a prática mais utilizada é a construção de açudes. Para tanto, na prática verifica-se que essa política não funciona, em razão dos grandes investimentos para a implantação dessas obras, relacionada aos altos custos de desapropriações e a relocação da população para outros espaços, sem falar que algumas bacias hidrográficas já se encontram no limite de disponibilidade hídrica superficial (LIMA, 2004).

Em contínuos anos severos de poucas precipitações no semiárido do Nordeste, a região ainda continua em situação crítica em termos de disponibilidade hídrica, já que os índices pluviométricos de 2012 a 2018 não foram suficientes para a restituição dos estoques de água, provocando uma grande redução no volume dos reservatórios, deixando muitos chegarem a secar totalmente (ANA, 2018). O sistema Coremas – Mãe D' Água, localizado no

sertão da Paraíba, é um exemplo dessa situação hídrica, onde vem operando bem abaixo de sua capacidade devido às poucas chuvas na região.

Segundo Lima (2004) a Lei nº 9.433 criada no ano de 1997, mais conhecida como Lei das Águas, constitui de importantes instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, de modo a garantir um melhor aproveitamento, controle e conservação desses recursos dentro de uma política participativa e descentralizada, envolvendo governo e sociedade. Além do mais, possui um papel importante para que a modernização da gestão hídrica no Brasil torne-se cada vez mais efetiva, por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos, que tem o intuito de garantir água em qualidade e quantidade para a sociedade atual e as futuras gerações.

A Lei nº 6.308, do ano de 1996, instituiu o Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGERH), no Estado da Paraíba, com o intuito de garantir o uso integrado e racional dos recursos hídricos, que em seu art. 5 esclarece que essa lei tem como finalidade a aplicação da Política Estadual de Recursos Hídricos, sendo também responsável por formar, atualizar e aplicar o Plano Estadual de Recursos Hídricos, em concordância com os órgãos e entidades estaduais e municipais, e sociedade civil organizada (AESAs, 2019). Para assegurar a demanda hídrica que é de suma importância para toda a sociedade, se faz necessário conhecer a realidade dos reservatórios, a começar por uma análise do balanceamento proporcional das entradas e saídas de água a ser acumulada. No intuito de cooperar com o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, utilizamos métodos de simulação, através de modelos integrados para análise de sistemas complexos em recursos hídricos. Esses modelos de simulação podem estreitar e facilitar o entendimento e a formulação do problema, assim como a interpretação dos resultados de análise, já que proporciona uma representação matemática bem detalhada, auxiliando na tomada de decisão dos gestores (SANTOS, 2011).

Dessa forma é possível idealizar cenários com situações planejadas, seja no período de seca ou cheia de uma região, com a intenção de contribuir com os gestores na tomada de decisão mais adequada para cada situação e cenários possíveis, impedindo decisões equivocadas que possam trazer prejuízos a todas as partes interessadas e a população em geral.

Com base nesse contexto, percebe-se ainda, a necessidade contínua do uso de ferramentas que auxiliem o processo de tomada de decisões nas unidades gestoras, a exemplo dos modelos de simulação, sendo estes de grande valia para um planejamento e gerenciamento preciso e eficiente acerca das questões que envolvem os múltiplos usos da

água. Desse modo, é possível realizar simulações com diferentes cenários de disponibilidade hídrica através de modelos, identificando o cenário ideal de alocação de água para cada tipo de demanda possibilitando uma gestão eficiente dos recursos hídricos.

Mediante do que foi exposto anteriormente, este trabalho tem como objetivo principal analisar de forma quantitativa a situação hídrica do sistema Coremas – Mãe D' Água considerando os usos múltiplos da água e período de crise hídrica no período de 2012 a 2018.

## **2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Os recursos são finitos e todos são responsáveis pela preservação. Dessa forma, é essencial ter em mente que a essência do desenvolvimento sustentável está em perpetuar o planeta, onde a permanência do mundo como conhecemos depende de como conseguimos gerenciar nossos impactos.

Para o alcance dos objetivos dessa pesquisa serão abordados os seguintes temas: Gestão Ambiental; Gestão das Águas; Demandas das Águas e Modelos de Simulação.

### **2.1 Gestão Ambiental**

Os recursos naturais são essenciais à vida humana. Um ambiente sadio para a humanidade é aquele que proporciona uma vida com saúde e que tenha recursos naturais suficientes para a sobrevivência. Já que todas as ações humanas alteram o ambiente natural, se faz necessário um gerenciamento adequado para que os riscos de esgotamento desses recursos naturais venham a ser diminuídos e que tenha uma garantia de que se mantenham com a qualidade e quantidade dos níveis originais ao longo do tempo, fazendo com que as gerações futuras as encontrem nas mesmas condições. (FLORIANO, 2007)

Conforme a sociedade vem aumentando, a consciência ecológica e a necessidade de se preservar o meio ambiente vêm emergindo um novo enfoque de pensamento, onde aumenta a pressão sobre as empresas, para que elas procurem alternativas de potencializar suas atividades de modo sustentável, estimulando a criação de leis direcionadas para a preservação e conservação ambientais. Essa conscientização ambiental é aparente em vários setores da sociedade, que tem como objetivo criar técnicas e desenvolver atividades econômicas de forma a utilizar de maneira racional os recursos naturais. (ALCÂNTARA *et al*, 2012).

Com o novo modo de pensar que a sociedade vem adquirindo, a Gestão Ambiental deixou de ser somente um assunto de ecologistas e ambientalistas, passando a se tornar assunto da atualidade. A questão ambiental acabou ocupando diferentes lugares nos debates e

reuniões mundiais, isso consequente da ameaça à sobrevivência humana em fase de degradação dos recursos naturais, a extinção das espécies da fauna e da flora, e o aquecimento da temperatura devido à emissão de gases poluentes (CAMPANER e SILVA, 2011).

A norma NBR ISO 14000 é responsável por descrever os requisitos básicos de um sistema de Gestão Ambiental, para que as empresas coloquem em prática o pensamento ambiental e sustentável, por meio de técnicas e soluções. Quando bem aplicada no setor empresarial, pode vir a trazer inúmeros benefícios, porém, se faz necessário buscar certificações junto a terceiros, sendo de suma importância, pois atestam que devida empresa executa suas atividades com base nas normas de Gestão Ambiental tendo em vista o uso racional dos recursos naturais. (ALCÂNTARA *et al*, 2012).

O Brasil é um dos países do mundo com maior biodiversidade natural, com uma riqueza de ecossistemas enorme e cada um merece tratamento diferenciado. O primeiro princípio que rege a política ambiental no Brasil está contido na Constituição Federal, onde fica estabelecido que: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado”, dessa maneira, ao se praticar atos que afronte este princípio, age-se de forma ilegal. As preocupações com as questões ambientais no cenário brasileiro tiveram início por meio dos setores hídrico e florestal, os quais levaram à emissão dos Decretos Leis que instituíram o Código Florestal, pelo Decreto Lei Nº 23.79317 de 23 de janeiro de 1934, e o Código de Águas através do Decreto Lei Nº 24.64318 de 10 de julho de 1934 (FLORIANO, 2007).

Segundo Alcântara *et al* (2012), a Gestão Ambiental pode ser vista de modo geral como uma decorrência natural da mudança do pensamento da humanidade em relação à utilização dos recursos naturais, unindo técnicas e conhecimentos, tanto por parte da sociedade, como também do setor empresarial, buscando soluções e alternativas para preservar o equilíbrio ambiental, minimizando ou recuperando a degradação do meio natural.

## **2.2 Gestão das Águas**

A superfície terrestre é composta 75% por águas, onde os outros 25% restantes são terras acima da água, fazendo com que tamanha abundância desse recurso crie condições essenciais para a vida e mantenha o equilíbrio da natureza. Ao contrário do que muitos pensam tanta quantidade de água não está disponível para o consumo humano, pois somente 2,7% são de água doce e grande parte está congelada ou embaixo da superfície do solo. Além disso, água doce não significa água potável, pois a água precisa ser de ótima qualidade, livre de contaminação e de substâncias tóxicas (WWF BRASIL, 2006).

O grande marco da gestão das águas no Brasil teve início com a promulgação do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, conhecido como o Código de Águas. Esse código traça diretrizes que permitam o poder público a controlar e incentivar o aproveitamento das águas. O decreto fala sobre a posse da água, que pode ser de domínio público, particular, e visa, sobretudo proteger a qualidade da água. Já a Lei das águas criada em 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o SINGREH- Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (RODRIGUES e AQUINO, 2013).

Segundo Peixinho (2010), o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos integra a base para a complexa tarefa de tornar eficiente a gestão dos recursos hídricos no Brasil. Os órgãos que compõe esse sistema são: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos; os Comitês de Bacias Hidrográficas e as Agências de Água. São importantes diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97): Associação dos aspectos quantitativos e qualitativos da água; Adequação das ações às diversidades regionais; Integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental; Integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão costeira e estuarina; Articulação com planejamentos setoriais, regionais, estaduais e nacionais; e Articulação com a gestão do solo. Além do mais, estabelecem os seguintes instrumentos para a gestão dos recursos hídricos: Planos de Recursos Hídricos (planos diretores por bacias); Outorga de direito de uso da água; Cobrança pelo uso da água; Sistema de informações sobre recursos hídricos; Compensação a municípios; e Enquadramento dos corpos d'água.

Folegatti *et al.* (2010) evidencia que o Brasil possui uma posição de privilegio em relação à situação atual no mundo, mas existe um ponto a ser observado que é a quantidade de água consumida na produção de bens e produtos alimentícios, ou seja a água necessita de atenção e precisa ser mais valorizada.

Para que ocorra de forma eficiente a gestão desses recursos, faz-se necessário conhecer o espaço físico em que se vivem, as suas características, analisando o regime e distribuição das águas, a fragilidade em que a natureza se encontra e os fatores socioculturais. Para assim levar em conta todos os tipos de usos múltiplos dos recursos, quem será beneficiado e em que quantidade e qualidade a água será utilizada (WWF BRASIL, 2006).

Diante da complexidade desses problemas, a Gestão das Águas surgiu como uma possibilidade para buscar solucionar todos esses desafios, agregando princípios que trazem a visão sistêmica e integrada dos elementos presentes no meio ambiente. Desse modo, o

resultado de um adequado gerenciamento dos recursos hídricos facilita a tomada de decisões e contribui criando medidas de minimizar os riscos de déficit hídrico.

### **2.3 Demanda das Águas**

O uso dos recursos naturais somente para fins econômicos tem provocado graves problemas ao meio ambiente, já que sua utilização é realizada sem a execução de metodologias que impossibilitem a degradação e o desequilíbrio dos ambientes naturais (SANTOS; KOPP; OLIVEIRA, 2015).

Para Folegatti *et al.* (2010) o crescimento constante da demanda por recursos hídricos trata-se de um problema de governabilidade, já que a utilização da água pode ser influenciada pelos aspectos tecnológicos, econômicos e político, sendo preciso compreender todas as relações contidas nesse contexto dos recursos hídricos.

A crise da água em que o Brasil vive, em especialmente a região Nordeste, resulta da falta de gerenciamento constante das ações políticas em geral e da água em particular (SÃO PAULO, 2014). Entre os fatores que contribuem à situação de crise de água no Brasil, podem ser destacados:

- Crescimento rápido e desordenado das demandas;
- Degradação da qualidade dos mananciais;
- Baixa eficiência dos serviços de saneamento básico

No Brasil e no mundo a agricultura irrigada é um dos usos que mais consome água, sendo utilizada para suprir a deficiência total ou parcial da água usada para a produção (ANA, 2005). O estudo da NASA demonstra que o Brasil protege e preserva a vegetação nativa em mais de 66% de seu território e cultiva apenas 7,6% das terras. Prevalecendo o uso dos métodos de irrigação de superfície, como espalhamento, pivô central, aspersão e similares, onde a eficiência desses métodos se torna média e são altamente consumidores de água. (EMBRAPA, 2019).

Diante das consequências malignas que a agricultura pode gerar aos recursos hídricos, pode-se citar a irrigação, já que parte da água usufruída retorna ao sistema hídrico por conta da infiltração, onde parte é absorvida por plantas e a outra evapora para a atmosfera. Podendo causar um grave problema ambiental em regiões onde há pouca disponibilidade de água frente à demanda (SANTOS; KOPP; OLIVEIRA, 2015).

A água direcionada para o setor industrial no Brasil representa 17% do volume total. Sendo utilizada na produção de vapor na geração de força motriz, durante os processos

produtivos. Em função disso, a Agência Nacional das Águas concluiu o estudo “Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos”, com o objetivo de atualizar as informações sobre o uso da água desse setor para custear o planejamento e a gestão de recursos hídricos. O estudo ainda revelou um aumento significativo da demanda hídrica industrial nos últimos anos, tendo a maior concentração de indústrias no Sudeste em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, onde se encontra os parques mais modernos e diversificados (ANA, 2018).

Para Folegatti *et al.* (2010), existem três principais soluções para minimizar o déficit hídrico, são: a diminuição do crescimento populacional; a modificação nos hábitos alimentares e de uso da água; e a adequação da forma de desenvolvimento local em detrimento da disponibilidade de recursos hídricos de cada localidade. Nessa perspectiva o autor alega que políticas hídricas fortes vão além da incorporação de princípios ambientalmente adequados, mas incluem os princípios econômicos de eficiência, envolvendo também a área política, podendo ser encontrada a resolução de muitos problemas.

O abastecimento de água nas grandes cidades é um grande desafio, já que em muitos casos há uma elevada densidade populacional e forte demanda por esses recursos hídricos, sendo a maior parte da disponibilidade de água no Brasil concentrada em regiões onde há menor quantidade de pessoas. Nessas áreas metropolitanas onde se tem uma maior demanda desse uso, o problema está relacionado com a frequente utilização da mesma fonte hídrica para diversos usos, resultando em conflitos associados à quantidade e à qualidade da água (ANA, 2018).

Além disso, os mananciais abastecem os grandes centros urbanos através de sistemas que atendem simultaneamente várias cidades. Sendo necessário lidar com a grande desigualdade de distribuição, em razão dos aspectos geográficos e populacionais.

## **2.4 Modelos de Simulação**

Os modelos de simulação são caracterizados como uma reprodução de um sistema físico com o intuito de prever seu comportamento dentro de certo conjunto de condições. Além de possuir a característica de ser flexível, pois permite que todas as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática mais detalhada, a simulação apresenta também como vantagem, a possibilidade de ser aplicado a sistemas complexos e aceitar quaisquer equações de restrições (SANTOS, 2011).

Por ser uma ferramenta tão flexível, a simulação se destaca entre as técnicas mais usadas. Essa técnica envolve o uso de um computador para simular a operação de processos

inteiros ou sistemas, sendo também usada para analisar sistemas estocásticos que continuarão a operar indefinidamente e tem sido há muito tempo uma importante ferramenta do projetista (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

De acordo com Santos (2011) a simulação é diferente de otimização em virtude que não identifica políticas ótimas de operação, no entanto ela permite uma representação bem detalhada e torna mais realista a complexidade do sistema estudado. Desse modo, pode-se dizer que as técnicas de simulação são mais apropriadas para analisar o desempenho de alternativas operacionais, principalmente, de longo prazo.

Segundo Vieira (2011):

Outra tendência nos modelos de simulação é a incorporação do aspecto qualitativo da água. Alguns dos modelos observados na literatura são integrações de softwares de alocação e qualidade da água. Em geral é feita a alocação de água e, na sequência, determinada as concentrações de diferentes parâmetros de qualidade da água em pontos de controle nos rios. (VIEIRA, 2011, p. 45)

Um modelo de simulação tem a finalidade de avaliar seu comportamento de acordo com diversas condições, tendo como principal característica a flexibilidade, pelo fato de permitir que as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática mais detalhada. Além de que, esse modelo de simulação se torna mais apropriado para análise de desempenho de alternativas operacionais em longo prazo (SANTOS, 2011).

Enquanto que o modelo de otimização possui a habilidade de examinar todas as alternativas possíveis e buscar a decisão ótima. Por outro lado, tem a limitação de não poder analisar o desempenho em longo prazo, e sim utilizando períodos mais curtos.

A simulação não é capaz de gerar diretamente uma solução ótima, sendo necessária exercer diversas vezes, com políticas de decisão alternativas, pode detectar algumas vezes uma solução ótima ou próxima desta. Dessa forma, é vital processar várias vezes para alcançar diferentes alternativas. O trabalho desenvolvido por (VIEIRA, 2011) ainda cita os principais modelos de simulação que utilizam técnicas combinadas de simulação e otimização que são: HEC-3, HEC-5, HEC-ResSim, IRIS, IRAS, AQUATOOL, WATERWARE, QUAL2E, HEC-PRM, AQUARIUS, WEAP21, MIKE BASIN, RIVERWARE, MODSIM DDS, ACQUANET, RIVERHELP e CALSIM.

Dessa maneira, utilizar esses modelos de simulação permite simular cenários com diversas situações que podem vir a ocorrer, com o intuito de auxiliar os gestores na tomada das decisões mais favoráveis para cada situação e cenário possíveis, evitando decisões

equivocadas que possam trazer prejuízos a todas as partes interessadas e a população em geral.

#### **2.4.1 *Acquanet***

No sentido de auxiliar com o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, estudos utilizam o método de simulação, através do ACQUANET. Como sistema de Suporte à Decisão (SSD), o ACQUANET apresenta-se como um modelo muito útil em estudos de recursos hídricos, atuando como um modelo de rede de fluxo para a simulação de bacias hidrográficas, elaborado pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos (ACQUANET, 2013).

O ACQUANET é estruturado como um sistema de suporte a decisão que tem como características estreitar a comunicação entre o usuário e o computador, favorecer o entendimento e a formulação do problema, a interpretação dos resultados de análise e de colaborar no processo de tomada de decisão, deixando mais ordenado, objetivo e transparente (VIEIRA, 2011).

O modelo ACQUANET é composto por um módulo base, sendo responsável pela agregação dos módulos: (1) alocação de água; (2) qualidade da água; (3) irrigação e (4) geração de curvas de aversão a risco. Esse software tem sido muito utilizado em diversos estados brasileiros por conta da facilidade que ele tem em se adaptar a um sortimento de problemas, dispondo também de ferramentas de análises preparados para tratar inúmeros problemas relacionados à alocação de água em bacias auxiliando a gestão e a tomada de decisão.

Devido a principal limitação do ACQUANET e que o torna um “modelo míope”, o modelo considera a otimização local (a cada mês) e não global (na série toda) para minimizar os custos, podendo incidir em situações de volumes zerados nas represas em certos espaços de tempo, sendo sucessivos ou não da simulação (CASTRO, 2003). Sendo assim, relacionada à simplificação da situação real para a rede de fluxo, outra dificuldade do ACQUANET é não poder esclarecer restrições hidráulicas operacionais, isto por falta de carga hidráulica mínima ou coluna d’água mínima.

#### **2.4.2 Soil Moisture Accounting Procedure (SMAP)**

De acordo com Buchianeri (2004), o modelo SMAP “Soil Moisture Accounting Procedure” ou, em sua tradução, “procedimento de contabilização da umidade do solo”, é um modelo de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão, desenvolvido por Lopes et. al. (1982), e apresentado no International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling realizado em Mississippi, U.S.A., e posteriormente publicado em 1982 pela Water Resources Publications (BUCHIANERI, 2004; CASTANHARO et al, 2007).

O SMAP é um modelo determinístico, conceitual e agregado, desenvolvido com base na experiência com a aplicação do modelo Stanford Watershed IV e modelo Mero em pesquisas realizadas no DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (BUCHIANERI, 2004). Originalmente foi desenvolvido para cálculo em intervalo de tempo diário, e posteriormente foram apresentadas as versões horária e mensal, que contaram com algumas em sua estrutura. (BUCHIANERI, 2004; CASTANHARO et al, 2007).

Esse modelo é do tipo distribuído por sub-bacias, que faz a simulação de séries contínuas, com a finalidade de converter chuvas em vazões naturais, utilizando dados básicos. (SILVA e LUZ, 2015). Para aplicação do modelo, são necessários dados precipitação, evaporação de tanque classe “A”, e vazões médias para um período mínimo, necessário para o processo de calibração. O SMAP possui uma estrutura relativamente simples para séries contínuas, e emprega a separação do escoamento com base nos parâmetros propostos pelo Departamento de Conservação do Solo Norte- Americano - Soil Conservation Service (SCS) (BUCHIANERI, 2004). O SMAP possui como principais vantagens, a sua simplicidade e o pequeno número de parâmetros a serem utilizados (CASTANHARO et al, 2007).

### **3.0 METODOLOGIA**

Para alcançar o objetivo deste estudo, a metodologia utilizada nesta pesquisa tem por base o uso do modelo de simulação *Acquanet*, que consiste em analisar a situação das principais demandas quantitativas do sistema Coremas – Mãe D’Água, tendo por finalidade simular cenários de operações de acordo com seus múltiplos usos, atendendo as limitações dos reservatórios, de acordo com as exigências dos órgãos responsáveis.

Esta pesquisa foi do tipo descritiva e explicativa. Descritiva pelo fato de descrever o sistema Coremas – Mãe D’Água, unidade de análise, explicitando as suas características. Nesse sentido, Prodanov e Freitas (2013) explicam que a pesquisa descritiva tem por objetivo

descrever características de determinado objeto de estudo, pesquisando, observando, registrando, analisando e ordenando os dados, sem manipulá-los, isto é, sem interferência do pesquisador. É, explicativa porque esse tipo de estudo tenta evidenciar os cenários ideais para as demandas existentes, de acordo com cada situação, de forma a proporcionar informações para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos no sistema estudado.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos esta pesquisa será bibliográfica, esse delineamento é possível, quando parti de um material já elaborado, constituído de livros, artigos de periódicos, teses e disponibilizado na Internet (PRODANOV; FREITAS, 2013). Para Gil (2009) o principal objetivo da pesquisa bibliográfica encontra-se no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma série de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia ser pesquisada diretamente. Deve ressaltar que a utilização deste procedimento será com base no maior número de trabalhos publicados em periódicos, artigos científicos, monografias, dissertações, teses e livros.

Do ponto de vista, da abordagem do problema, esta pesquisa será quantitativa. Pois terá a pretensão de utilizar os dados matemáticos encontrados, para direcionar as quantidades de recursos hídricos para cada demanda, através do uso do modelo matemático Acquanet. Quanto aos meios técnicos essa pesquisa será realizada através do método dedutivo, que de acordo com Gil (2009) parte de princípios identificados como verdadeiros e indiscutíveis e propicia chegar a conclusões de maneira formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.

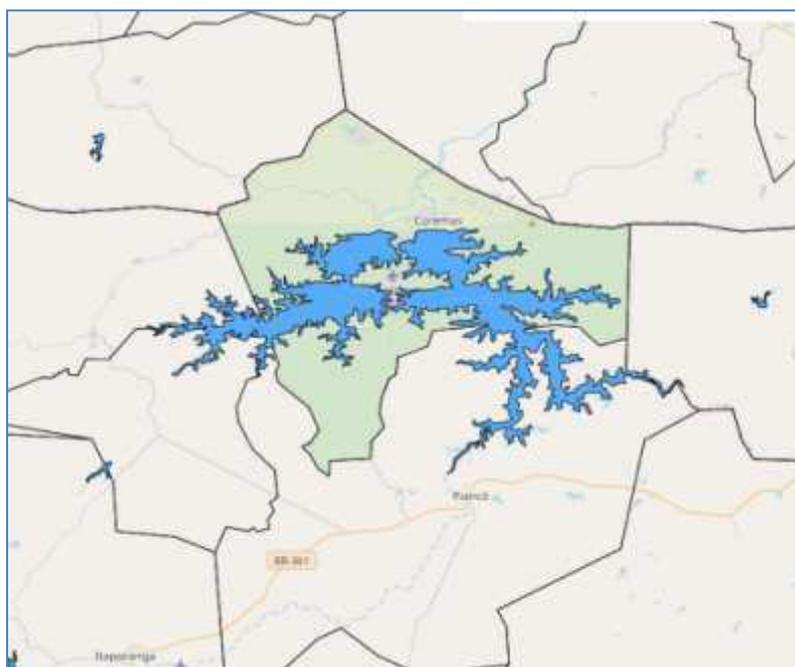
### **3.1 Caracterização da Área de Estudo**

O sistema Coremas - Mãe D'Água, localizado no município de Coremas-PB, no interior do sertão paraibano, pertence à bacia hidrográfica do Rio Piancó. Segundo LIMA (2004), os reservatórios foram construídos para os fins: perenização dos vales, controle de cheias, irrigação, piscicultura, aproveitamento de culturas nas áreas de chegada das águas, o abastecimento de água para as populações urbanas e geração de energia, entre outros usos.

A sub-bacia do rio Piancó localiza-se no Sudoeste do Estado da Paraíba, entre os paralelos 6043'51'' e 7058'15'' Sul e meridianos 37027'41'' e 38042'49'' a Oeste de Greenwich. Limitando-se a Oeste com o estado do Ceará, ao Sul com o estado de Pernambuco, ao Norte com as sub-bacias do Alto e Médio Piranhas e ao Leste com a sub-bacia do Rio Espinharas, onde sua temperatura média anual é superior a 24°C e a amplitude térmica anual menor que 40°C. Correspondendo a uma das sete sub-bacias do Rio Piranhas em território paraibano. (LIMA, 2004).

O sistema Coremas - Mãe D' Água tem capacidade máxima de 1.358.000.000 m<sup>3</sup> de água, mas atualmente opera com apenas 86.859.933 m<sup>3</sup>, ou seja, está com 14,9% de sua capacidade total, de acordo com dados do monitoramento da AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, (2019). O gerenciamento do sistema Coremas - Mãe D'Água se torna complexo, pelo fato de envolver 24 reservatórios de montantes responsáveis por abastecer vários municípios e seis perímetros de irrigação.

**Figura 1.** Localização dos reservatórios de Coremas e Mãe de Água.



**Fonte:** (AESAs, 2019).

O sistema também atende vários usos a jusante, como: geração de energia, perenização do Rio Piancó, as demandas hídricas do Estado do Rio Grande do Norte, abastecimento do perímetro irrigado Várzeas de Sousa, o sistema adutor de Coremas/Sabugi e demandas de irrigação à jusante do sistema. Além disso, o sistema Coremas – Mãe D' Água apresenta déficit hídrico, com as demandas atuais sendo superiores às disponibilidades atuais, por esse motivo necessita de uma política de aproveitamento mais eficiente e gestão integrada dos recursos disponíveis (ANA, 2018).

### 3.2 Simulação Cenário 1 – O Sistema como dois reservatórios

Neste cenário o objetivo foi realizar uma análise do comportamento hídrico do sistema, considerando apenas a operação na cota da infraestrutura que separa os reservatórios, ou seja, na cota da soleira do canal de ligação dos reservatórios.

Foram realizadas simulações utilizando os dados resultantes da pesquisa, como as vazões calculadas encontradas pelo cálculo no software SMAP, após isso, inseridos no ACQUANET juntamente com os dados de cada reservatório como volume máximo, mínimo e inicial, cota x área x volume, e a taxa de evaporação mensal do reservatório. Logo após, foi inserida as demandas atreladas a cada reservatório, considerando o nível de prioridade, abastecimento humano 1, dessedentação animal 1, irrigação 2, indústria 3, e piscicultura 4.

Por fim, foram gerados resultados para a melhor concepção do comportamento hídrico e das retiradas dos reservatórios. Podendo analisar se ocorreram falhas em alguns dos períodos estudados.

A figura 2 mostra mais detalhadamente a localização da tomada de água do reservatório Coremas, como também o sangrador do reservatório Mãe D' Água, ambos localizados na cidade de Coremas/ PB.

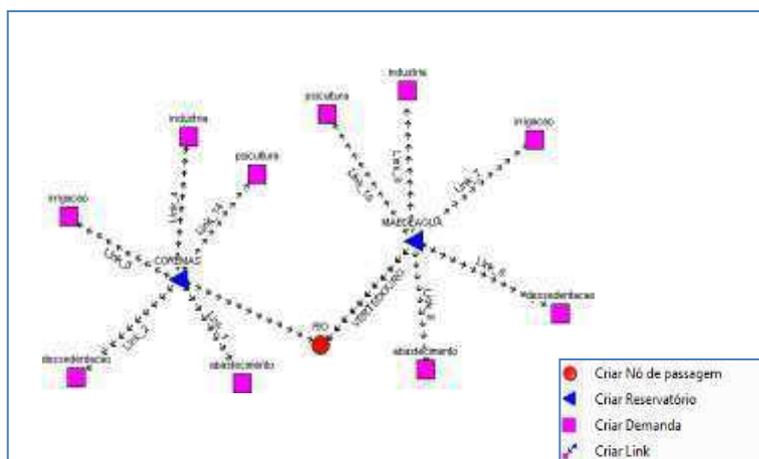
**Figura 2.** Tomada D'água do reservatório Coremas e Sangrador do reservatório Mãe D'Água.



**Fonte:** (LIMA, 2004)

A Figura 3 ilustra o layout, ou seja, o traçado do sistema analisado como dois reservatórios sem a comunicação do canal, o qual foi desenhado com o uso das ferramentas disponíveis no Acquanet.

**Figura 3.** Layout dos reservatórios Coremas e Mãe de Água como dois reservatórios separados.



**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

Esse traçado ilustra o percurso hídrico construído através do modelo Acquanet e como funciona a dinâmica dos reservatórios, assim como as retiradas dos diferentes usos de cada reservatório separadamente.

### 3.3 Simulação cenário 2 – O Sistema como um único reservatório

Neste cenário o objetivo foi realizar uma análise do comportamento hídrico do sistema, considerando apenas a operação na parte superior dos reservatórios, ou seja, na cota da soleira superior do canal de ligação dos reservatórios (cota igual a 237m).

Foram realizadas simulações utilizando os dados resultantes da pesquisa, como as vazões calculadas encontradas pelo cálculo no software SMAP, após isso, inseridos no ACQUANET juntamente com os dados do sistema como volume máximo, mínimo e inicial, cota x área x volume, e a taxa de evaporação mensal do sistema Coremas-Mãe de Água, como um único reservatório. Logo após, foi inserida as demandas atreladas ao sistema, considerando o nível de prioridade, abastecimento humano 1, dessedentação animal 1, irrigação 2, indústria 3, e piscicultura 4.

Por fim, foram gerados resultados para a melhor concepção do comportamento hídrico e das retiradas do sistema, podendo analisar se ocorreram falhas em sua disponibilidade hídrica em alguns dos períodos estudados.

A figura 4 mostra o lago formado pelos reservatórios Coremas e Mãe de Água no momento em que atingem um considerável volume de água, ultrapassando a cota da soleira



### **3.4 Dados de entrada**

Com relação às séries de vazões naturais mensais dos reservatórios Coremas e Mãe de Água, nos anos de 1963 a 2018, ainda não disponíveis, foram calculadas através do SMAP, um modelo de simulação hidrológica do tipo transformação chuva em vazão.

Para efeito da utilização da simulação, dados como: precipitação, evaporação, vazões naturais, demandas existentes e suas retiradas, volumes máximos e mínimos, volume meta, dentre outros fatores que influenciam na dinâmica dos reservatórios em estudo foram necessários.

#### **3.4.1 Dados de entrada para o modelo SMAP**

O modelo SMAP “*Soil Moisture Accounting Procedure*”, que se baseia em um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão, desenvolvido por Lopes et. al. (1982). Para este estudo foi utilizada a versão SMAP.Net, versão Windows (1.0.0.0 de 24/06/2015), disponível no site do LabSid.

Para o cálculo das vazões naturais mensais dos anos de 1963 a 2018, através do modelo SMAP, foram necessários dados pluviométricos, dados evapotranspiração e vazões naturais médias, e dados gerais da área de estudo, denominados “dados iniciais”, como a área de drenagem (Ad), taxa de umidade (Tu), escoamento de base (Eb), capacidade de campo e Abstração inicial, além da utilização de parâmetros específicos para a região em que se encontra a área de estudo.

##### **3.4.1.1 Os dados iniciais do Modelo SMAP**

Os dados iniciais exigidos no SMAP estão apresentados na Tabela 1 e foram utilizados para conseguir calcular as vazões afluentes, necessárias para a análise seguinte dos reservatórios, são: área de drenagem (Ad) dos reservatórios, taxa de umidade (Tu), escoamento de base (Eb), capacidade de campo e abstração inicial (parcela da quantidade de chuva produzida antes do início de escoamento superficial). Conforme a tabela 1:

**Tabela 1.** Dados iniciais do Sistema Coremas-Mãe d'água para modelo SMAP.

<b>Sistema</b>	<b>Área Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Taxa de Umidade (%)</b>	<b>Escoamento Base (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Abstração inicial (mm)</b>	<b>Capacidade Campo (%)</b>
Coremas – Mãe de Água	2.035	68	16,4	4	80

**Fonte:** (IBGE, 2019); (PRHBH Rio Piancó-Piranhas-Açu, 2016).

Dentre esses valores, apenas a abstração inicial permaneceu o valor padrão encontrado no modelo. A área de drenagem dos dois reservatórios foi encontrada no IBGE – Índice Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Para os demais itens, foram utilizados como referência os dados disponíveis no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2016), e que os outros são provenientes da própria calibração do software.

#### **3.4.1.2 Parâmetros utilizados no Modelo Smap**

Os parâmetros utilizados na aplicação do modelo foram também os dispostos no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2016), aplicados para o período que compreende janeiro de 1963 a dezembro de 2018. Os parâmetros utilizados foram: Capacidade de saturação do solo (Sat); coeficiente de recarga do aquífero (Crec); taxa de geração de escoamento superficial (Pes); taxa de depleção do nível da água do aquífero subterrâneo (k), conforme tabela 2 a seguir:

**Tabela 2.** Parâmetros dispostos da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu.

<b>Estação</b>	<b>Período</b>	<b>Parâmetros</b>			
Coremas – Mãe de Água	Jan/63 a dez/2018	Sat (mm)	Pes	CREC	kkt
		5472,7105	51,8721	0	20

**Fonte:** (Adaptado do PRHBH Rio Piancó-Piranhas-Açu, 2016).

Esses dados são necessários para se chegar ao resultado final das vazões calculadas de 1983 a 2018, podendo assim ser inseridos na análise seguinte, do modelo Acquanet, para a análise dos cenários propostos nesta pesquisa.

### 3.4.2 Precipitações mensais do sistema estudado

Os dados de precipitações mensais utilizados estão em mm e correspondem ao período em que se desejava obter as vazões naturais mensais, ou seja, compreendeu o período de janeiro de 1963 a dezembro de 2018.

Esses valores foram obtidos no site da ANA de 1963 a 2007, e no site da AESA de monitoramento de chuvas de 2008 a 2018, no qual foram verificados os dados das estações pluviométricas de Coremas - Açude Coremas, e estação Coremas - Açude Mãe de água. Esses dados estão dispostos no item “Anexos”, deste trabalho.

### 3.4.3 Valores de evaporação do sistema estudado

Na Tabela 3, estão apresentados os valores de evaporações médias mensais em mm, que foram coletados dos reservatórios Coremas e Mãe de Água, dispostos no anexo b – Piancó-Piranhas-Açu, da Agência Nacional das Águas (ANA, 2017).

**Tabela 3.** Evaporação média mensal dos reservatórios Coremas e Mãe de Água.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Coremas (mm)	198	140	114	103	118	133	169	219	237	254	247	238
Mãe de Água (mm)	191	133	110	101	119	133	168	216	234	249	240	231

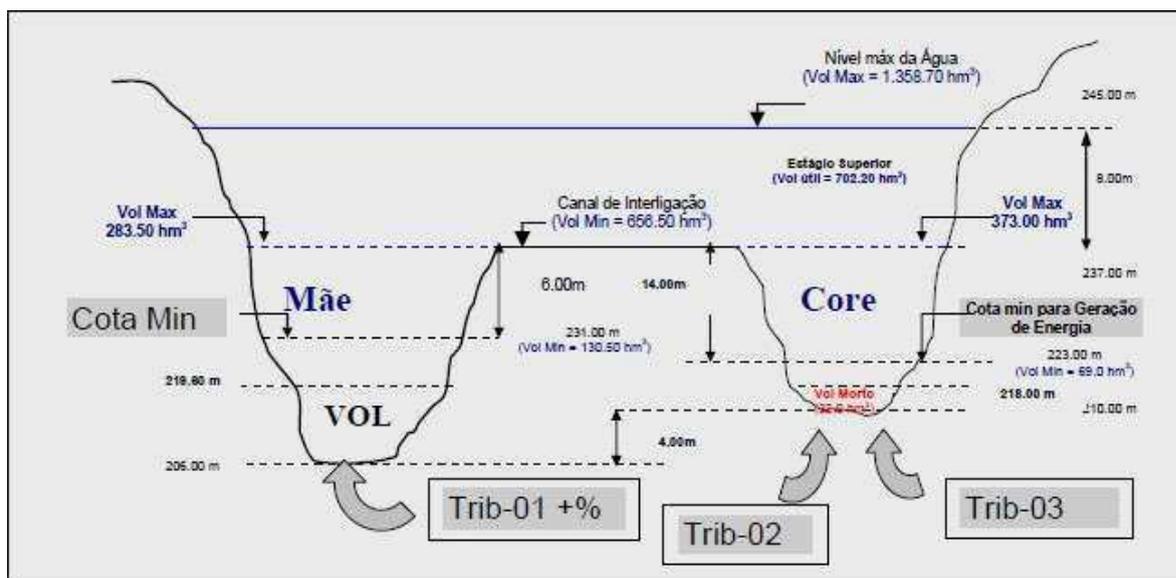
**Fonte:** (ANA, 2017).

A alta taxa de evaporação de água, comum em regiões de clima árido e/ou semiárido, é um fator que afeta significativamente os aspectos quantitativos dos reservatórios de água, principalmente os de superfície.

### 3.4.4 Dados para o modelo Acquanet

O modelo de rede fluxo Acquanet necessita inicialmente, para sua aplicação, o desenho da topografia do sistema hídrico estudado. Já como dados de entrada, são necessários: demandas e seus valores de retirada, séries de vazões naturais, cota  $\times$  área  $\times$  volume, volumes máximo e mínimo, volume meta, e evaporação média mensal. Os itens a seguir detalham mais sobre esses dados, conforme a figura 6:

**Figura 6.** Representação do sistema Coremas Mãe D'Água para simulação.



**Fonte:** LIMA (2004).

Esses dados foram importantes para se estudar detalhadamente a análise quantitativa dos reservatórios nos cenários idealizados, considerando as cotas referentes a cada cenário e iniciar as simulações no modelo Acquanet, seja abaixo da cota de ligação onde se tornam dois reservatórios distintos ou na cota da soleira superior de ligação onde se tornam um só reservatório.

#### 3.4.4.1 Demandas do Sistema

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos Piancó-Piranhas-Açu (2016), as principais demandas existentes nos reservatórios Coremas e Mãe de água são essencialmente as mesmas. São estas: abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria, e piscicultura. Os tipos de demanda, seus valores de retirada e a prioridade de atendimento estão dispostos na tabela 4.

**Tabela 4.** Retiradas para abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria e piscicultura nos reservatórios Coremas e Mãe de Água, Paraíba, Brasil.

<b>RESERVATÓRIO</b>	<b>Abastecimento Humano</b>	<b>Dessedentação Animal</b>	<b>Irrigação</b>	<b>Indústria</b>	<b>Piscicultura</b>	<b>Total</b>
Coremas	2,60	0,26	7,18	0,32	0,04	10,42
Mãe de Água	0,51	0,13	7,77	0,23	0,04	8,70
Nível de Prioridade	1	1	2	3	4	-

**Fonte:** (Adaptado do PRH Rio Piancó-Piranhas-Açu, 2016).

Foi considerado o consumo de 4,0 m<sup>3</sup>/s para o projeto de irrigação das Várzeas de Sousa proveniente do reservatório Mãe de Água, através do canal da redenção. Uma demanda para o Rio Grande do Norte de 1,5 m<sup>3</sup>/s; e o consumo de 0,5 m<sup>3</sup>/s para o projeto de irrigação Piancó I, procedentes do reservatório Coremas.

#### 3.4.4.2 Volumes máximo, mínimo e volume meta

Os valores do volume máximo e mínimo são apresentados conforme a tabela 5. O volume meta estipulado para aplicação no modelo Acquanet foi optado por regra de operação, utilizando todo o volume mínimo do reservatório, considerada o volume mínimo sendo o volume meta.

**Tabela 5.** Volumes dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, e do sistema unido, Paraíba, Brasil.

<b>DADOS</b>	<b>Coremas</b>	<b>Mãe de Água</b>	<b>Sistema Coremas-Mãe de Água</b>
Volume Máximo (m <sup>3</sup> )	158,23	158,96	1.159,63
Volume Mínimo (m <sup>3</sup> )	36,70	18,17	54,87

**Fonte:** (ANA, 2014); (AESAs, 2019).

Já os volumes mínimos foram considerados, como sendo na cota mínima de 223(m). Os volumes máximos considerados na simulação do sistema separado foram considerados o valor na cota máxima feita pela batimetria da ANA (2014). Já os volumes máximos considerados na simulação do sistema como um só, foram considerados os seus valores de capacidade máxima do sistema (AESAs, 2019).

#### **3.4.4.3 Vazões naturais, cota x área x volume e evaporação**

As séries de vazões naturais compreendendo o período de janeiro de 1963 a dezembro de 2018, e os valores de cota  $x$  área  $x$  volume dos reservatórios estudados estão contidas no item “anexos” deste trabalho. Os dados citados cota  $x$  área  $x$  volume, foram retirados da Nota Técnica nº 001/2014 da Agência Nacional das Águas. Já os valores de evaporação média mensal, já foram apresentados no item 3.4.3.

### **3.5 Cenários de Operação**

As simulações foram iniciadas com o modelo SMAP, a fim da obtenção dos valores de vazões naturais mensais de 1963 a 2018. Posteriormente, esses valores foram empregados no modelo *Acquanet*, juntamente com os demais dados já citados até aqui, o qual foi executado o cálculo utilizando 56 anos, no período compreendido entre janeiro de 1963 a dezembro de 2018. Essa simulação permitiu a análise do comportamento dos dois reservatórios em detrimento ao atendimento de cada demanda, e da situação de seu volume inicial e final. Dessa forma, foi possível visualizar a sistemática desse sistema hídrico ao longo do tempo, passando por situações de períodos chuvosos e períodos de estiagem.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesse tópico serão abordados os resultados das simulações realizadas. Primeiro, serão relatados os resultados das vazões naturais calculadas, obtidas com a aplicação do modelo SMAP, e posteriormente, serão descritos detalhadamente os resultados das simulações do desempenho hídrico dos reservatórios Coremas e Mãe de Água individualmente e como sistema unido, obtidos com o modelo *Acquanet*.

#### 4.1 Vazões afluentes calculadas do sistema estudado

Através dos dados e parâmetros aplicados ao modelo SMAP, que tiveram como referência os valores dispostos no Plano de Recursos Hídricos Piancó-Piranhas-Açu (2016), as vazões calculadas são apresentadas na tabela 6.

**Tabela 6.** Vazões calculadas do sistema Coremas-Mãe de Água, Paraíba, Brasil.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2010	96,58	43,89	48,08	106,41	6,92	74,53	0,58	0	0	77,14	0	72,40
2011	162,18	120,08	51,61	129,56	137,83	5,63	5,72	0	0	41,22	12,55	7,50
2012	18,71	77,36	50,06	37,31	11,28	6,21	0	0	0	0	0	0,31
2013	30,54	34,22	109,58	93,33	39,15	73,41	32,17	12,59	0	11,35	8,26	53,89
2014	44,76	55,15	228,45	156,78	72,71	9,09	15,70	1,93	0,64	11,29	19,03	8,22
2015	35,03	40,45	164,69	70,25	5,22	12,17	28,30	0	0	2,08	0	10,83
2016	171,83	45,76	151,15	61,70	13,95	3,00	0	0	1,89	0	0	3,52
2017	22,30	126,66	82,58	100,08	63,21	32,42	32,09	0	0,19	0	1,23	0,85
2018	53,42	184,15	70,87	124,13	26,56	0	1,93	0	0	0	16,07	45,42

**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

As vazões calculadas conforme mostradas na tabela 6, foram obtidas a partir do modelo SMAP, necessárias nas simulações no modelo Acquanet para os dois cenários propostos nesta pesquisa.

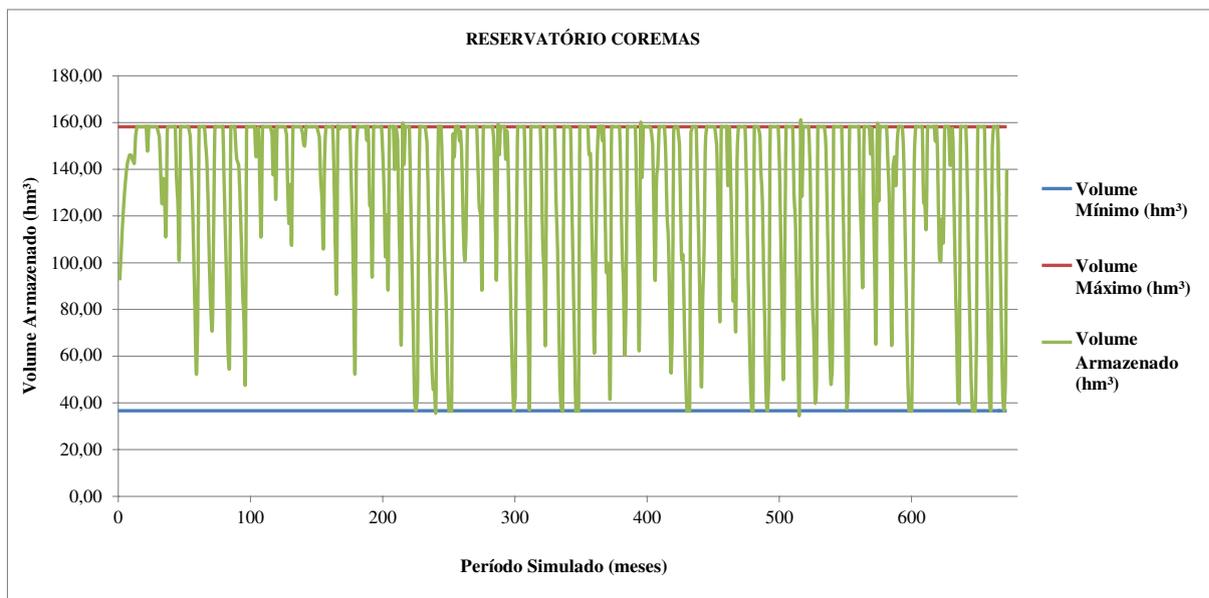
#### 4.1.2 Cenário 1

Nesse tópico são expostos individualmente, os resultados da simulação da série histórica para o reservatório Coremas e de Mãe D'água, seu desempenho ao longo dos anos e o atendimento às suas respectivas demandas.

### 4.1.3 Comportamento do reservatório Coremas

No início da série, foi estabelecido o volume inicial do reservatório com 50% de sua capacidade máxima. A Figura 7 ilustra o desempenho do reservatório.

**Figura 7.** Comportamento do volume armazenado do reservatório Coremas, Paraíba, Brasil.



**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

Percebe-se que existe uma grande variabilidade em seu volume, caracterizado pelos anos alternados de altos índices pluviométricos e de períodos de estiagem, que é uma característica da região em que está inserido, e por terem sido simulados de forma separados e com dados batimétricos fornecidos pela ANA (2014).

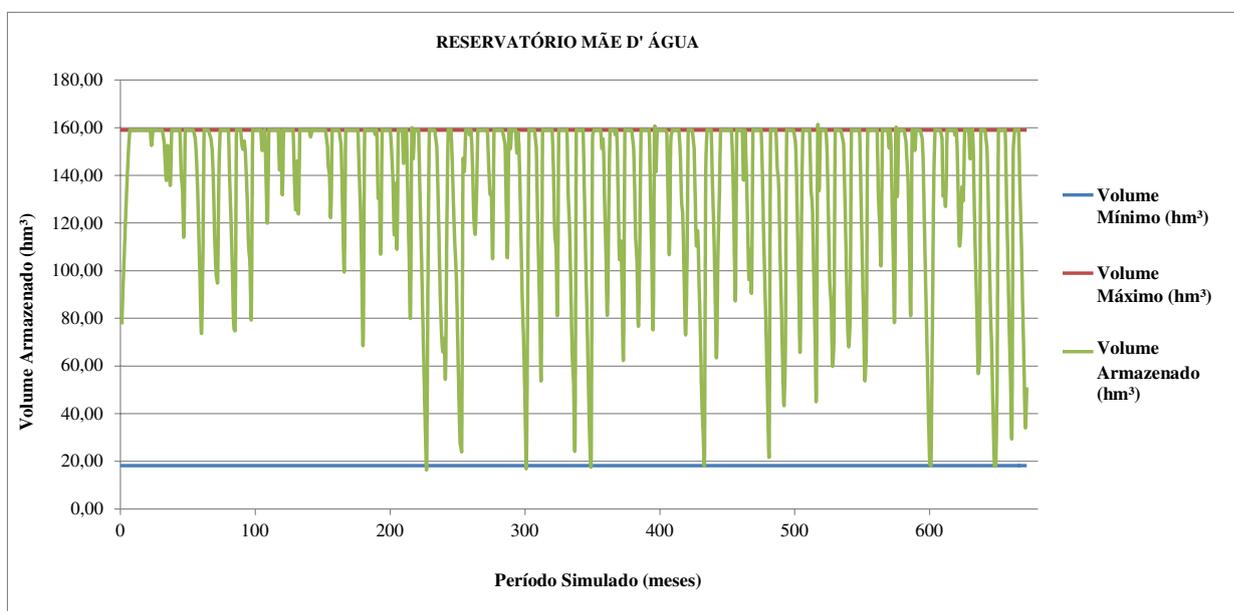
É possível observar que se iniciaram períodos de volumes mais baixos, chegando a atingir seu volume mínimo em vários anos, onde o reservatório operou com sua capacidade mínima em alguns períodos, fato que tornou a ocorrer nos anos mais recentes, onde as vazões naturais não foram suficientes para que Coremas tivesse aumento significativo em seu volume, o que afeta diretamente as demandas envolvidas.

#### 4.1.4 Comportamento do reservatório Mãe D'água

Nesse tópico são expostos individualmente, os resultados da simulação da série histórica para o reservatório Mãe de Água, seu desempenho ao longo dos anos e o atendimento às suas respectivas demandas.

Na simulação realizada para a série histórica no reservatório Mãe de Água foi adotado, assim como para Coremas, um volume inicial estabelecido de 50% de sua capacidade máxima. A Figura 8 apresenta os resultados obtidos para o comportamento de seu volume armazenado.

**Figura 8.** Comportamento do volume armazenado do reservatório Mãe de Água, Paraíba, Brasil.



**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

A Figura 8 demonstra a constância de altos volumes no reservatório em alguns períodos ao longo dos anos simulados. Podendo ser verificado também, que a partir de certo ponto, ocorreram períodos de baixos volumes, chegando ao limite do volume mínimo. A constância dos períodos secos também é um ponto a ser ressaltado, intensificando o descumprimento do volume meta em vários anos, o que trouxe transtornos e falta de água para a população e todas as demandas envolvidas.

#### 4.1.5 Atendimento as demandas

Observa-se na Tabela 7, que a demanda hídrica para abastecimento, dessedentação animal, irrigação, indústria e piscicultura foram atendidas plenamente em alguns períodos, porém, ocorreram falhas de forma alternada, ou seja, houve déficit no atendimento, principalmente nos últimos anos, onde o problema tem se agravado em função dos últimos anos de baixos índices pluviométricos. O cálculo da confiabilidade para as demandas de abastecimento humano e dessedentação animal foram de 99,7%, já para irrigação, indústria e piscicultura foram de 99,5%, porém obtiveram as vazões médias fornecidas diferentes.

**Tabela 7.** Retiradas para o abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria, piscicultura nos reservatórios Coremas, Paraíba, Brasil.

USOS MÚLTIPLOS	Número de Falhas	Garantia (%)	Demanda Máxima Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Média Fornecida (m <sup>3</sup> /s)
Abastecimento humano	2	99,7	2,609	2,569
Dessedentação animal	2	99,7	0,261	0,256
Irrigação	3	99,5	7,185	6,948
Indústria	3	99,5	0,323	0,310
Piscicultura	3	99,5	0,049	0,047

**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

É possível verificar na tabela 8 que, apesar dos períodos em que a demanda foi atendida com êxito, também apareceram falhas, que se intensificaram em virtude dos períodos mais ocorrentes de poucas chuvas. É importante ressaltar que além dos períodos de baixas chuvas, as demandas tendem a aumentar ao longo dos anos, ocasionando maior retirada e menor volume água acumulada no reservatório. A confiabilidade de atendimento para as demandas de abastecimento humano e dessedentação animal foram de 99,7%, já para irrigação, indústria e piscicultura foram de 99,5%, porém obtiveram as vazões médias fornecidas diferentes.

**Tabela 8.** Retiradas para o abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria, piscicultura nos reservatórios Mãe de Água, Paraíba, Brasil.

USOS MÚLTIPLOS	Número de Falhas	Garantia (%)	Demanda Máxima Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Média Fornecida (m <sup>3</sup> /s)
Abastecimento humano	2	99,7	0,517	0,509
Dessedentação animal	2	99,7	0,134	0,132
Irrigação	3	99,5	7,773	7,656
Indústria	3	99,5	0,232	0,228
Piscicultura	3	99,5	0,049	0,482

**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

## 4.2 Cenário 2

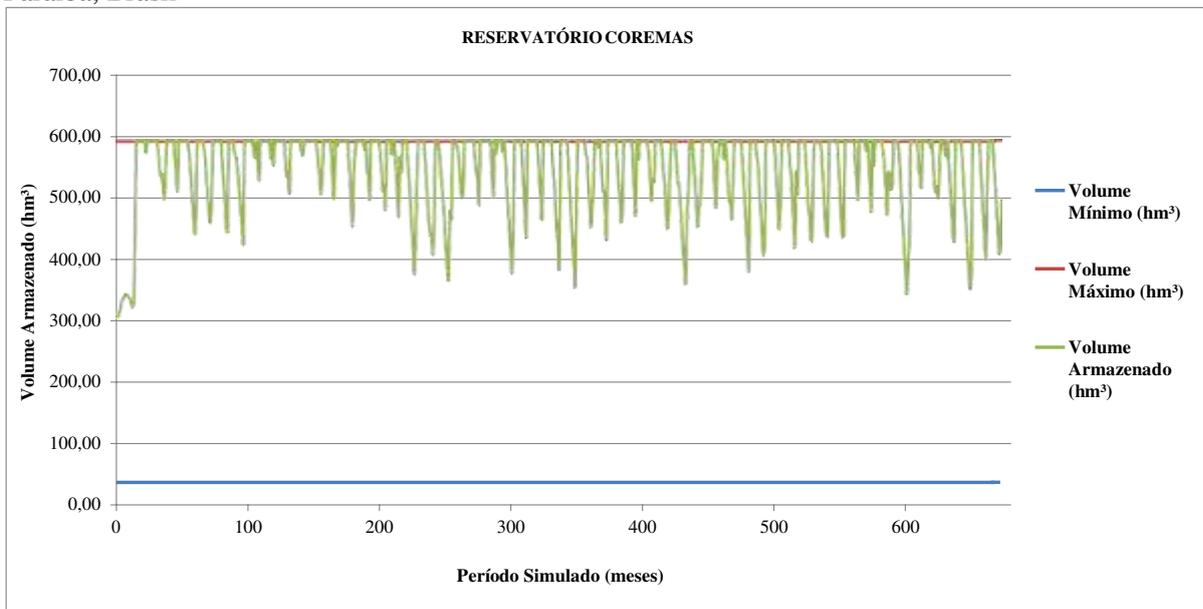
Nesse tópico são expostos individualmente, os resultados da simulação da série histórica para o sistema Coremas – Mãe de Água, seu desempenho ao longo dos anos e o atendimento às suas respectivas demandas.

### 4.2.1 Comportamento do Sistema Coremas – Mãe de Água

Quanto ao desempenho dos reservatórios como um único reservatório, em sua maioria apresentou resultado satisfatório, porém vale ressaltar que o provável aumento do consumo hídrico das demandas traz mais possibilidades de déficit de disponibilidade para este reservatório. É importante frisar, a respeito dos resultados fornecidos pelo modelo, que este não reconheceu valores abaixo do volume mínimo.

De acordo com a figura 9, percebemos que o volume do reservatório variou muito pouco. Isso se deve ao fato de ter sido considerada a cota até a soleira máxima do canal, dessa forma, o reservatório ficou com um volume maior, atendendo todas as demandas a ele atreladas.

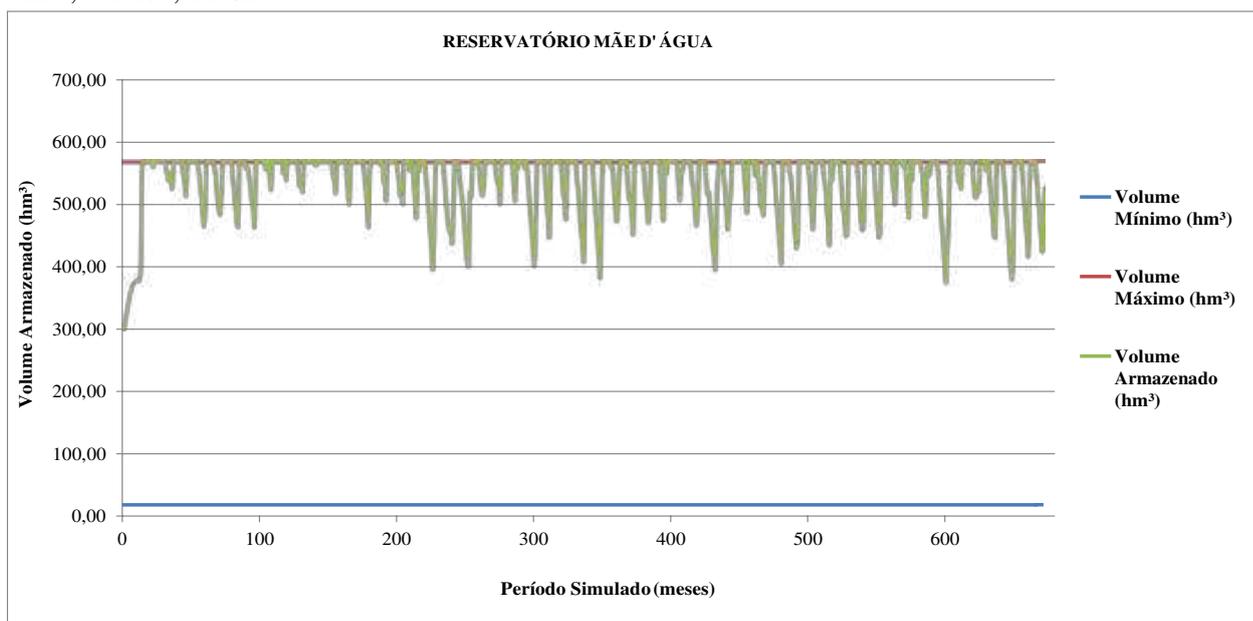
**Figura 9.** Comportamento do volume armazenado do Reservatório Coremas, interligado pelo canal, Paraíba, Brasil



**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

Nota-se na Figura 10, que as demandas foram atendidas plenamente, não havendo falhas de atendimento. Isso ocorre devido ter sido considerada a cota até a soleira máxima do canal, dessa forma, o reservatório ficou com um volume maior, variando pouco ao longo dos anos.

**Figura 10.** Comportamento do volume armazenado do Reservatório Mãe D'água, interligado pelo canal, Paraíba, Brasil.



**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

#### 4.2.2 Atendimento as Demandas

Como se pode observar na tabela 9, foi simulado o reservatório Coremas interligado por um canal. Considerando o sistema trabalhando cheio, na cota máxima de 245,00 (m), percebe-se que o sistema atendeu todas as retiradas, seja de abastecimento humano onde foi considerada a retirada de 1,5 da água para o Rio Grande do Norte através do reservatório de Coremas. As retiradas para dessedentação animal, irrigação, indústria e piscicultura.

O sistema foi capaz de satisfazer a demanda em todos os meses. Onde a garantia de atendimento ficou em 100% para todos os usos.

**Tabela 9.** Retiradas para o abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria piscicultura no reservatório Coremas, Paraíba, Brasil.

USOS MÚLTIPLOS	Número de Falhas	Garantia (%)	Demanda Máxima Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Média Fornecida (m <sup>3</sup> /s)
Abastecimento humano	0	100	2,609	2,609
Dessedentação animal	0	100	0,261	0,261
Irrigação	0	100	7,185	7,185
Indústria	0	100	0,323	0,323
Piscicultura	0	100	0,049	0,049

**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

Já na tabela 10, foi simulado o reservatório Mãe de Água interligado por um canal. Considerando o sistema trabalhando cheio, na cota máxima de 245,00 (m), percebe-se que o sistema atendeu todas as retiradas, seja de abastecimento humano onde foi considerada a retirada de 1,5 da água para o Rio Grande do Norte através do reservatório de Coremas. As retiradas para dessedentação animal, irrigação, indústria e piscicultura.

**Tabela 10.** Retiradas para o abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria piscicultura no reservatório Mãe de Água, Paraíba, Brasil.

USOS MÚLTIPLOS	Número de Falhas	Garantia (%)	Demanda Máxima Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Média Fornecida (m <sup>3</sup> /s)
Abastecimento humano	0	100	0,517	0,517
Dessedentação animal	0	100	0,134	0,134
Irrigação	0	100	7,773	7,773
Indústria	0	100	0,232	0,232
Piscicultura	0	100	0,049	0,049

**Fonte:** Dados da pesquisa (2019).

## 6 CONCLUSÃO

As condições climatológicas características do semiárido trazem desafios para os comitês de bacias na gestão dos recursos hídricos. Os baixos índices pluviométricos concentrados em poucos meses do ano, assim como a grande alternância de anos chuvosos e de estiagens trazem um contexto complexo para a manutenção do volume meta dos reservatórios, que muitas vezes não conseguem atender plenamente suas demandas, que tendem a aumentar ao longo do tempo.

Dentro desse contexto, este trabalho teve como intuito analisar de forma quantitativa a situação hídrica do sistema Coremas - Mãe de Água, e o atendimento as suas demandas, através das simulações da série histórica de 1963 até o recente ano de 2018, como também analisar a situação dos reservatórios como o sistema Coremas-Mãe D'água unida pelo canal. Finalmente, os resultados obtidos com a análise dos reservatórios, proposta neste trabalho, adotaram técnicas combinadas de otimização e de simulação, por meio dos modelos SMAP e Acquanet. Os requerimentos operacionais foram: manter um volume meta dentro da qual se utiliza toda a capacidade útil de cada reservatório, a manutenção do volume mínimo. Com relação às prioridades de atendimento das demandas foram: primeiramente, retiradas d'água para abastecimento e dessedentação animal, em segundo plano para irrigação, em terceiro para o uso industrial, e em quarto para o uso da piscicultura.

Na análise de alocação feita no Modelo *Acquanet*, para a simulação da série histórica de 1963 a 2018 para os dois reservatórios separadamente, o que se pode concluir é que, para os dois reservatórios, na maioria dos meses, o volume meta foi respeitado, trabalhando abaixo da cota do canal e devido às vazões mais acentuadas provenientes de períodos de chuvas mais abundantes, o volume máximo foi alcançado. Ocorreram períodos em que a capacidade dos reservatórios chegou ao volume mínimo, em detrimento das poucas chuvas e devido o assoreamento, que se tornaram mais presentes nos últimos anos, fazendo com que esses reservatórios ainda estejam, até o presente momento, longe de atingir sua capacidade máxima de armazenamento de água.

Quanto às demandas dos dois reservatórios, o comportamento foi similar, o abastecimento humano e a dessedentação animal apresentaram garantias de 99,7%, já para irrigação, indústria e a piscicultura apresentaram garantias de 99,5, porém nenhuma delas citadas teve garantia plena de seu atendimento, ou seja, nenhuma apresentou 100% no cenário 1.

Já na simulação da série histórica de 1963 a 2018 para os dois reservatórios como um só, o que se pode concluir é que, por ter sido considerada a cota até a soleira máxima do canal, o reservatório ficou com um valor maior, variando muito pouco. Com isso, foi possível atender as demandas atreladas ao sistema, sendo o comportamento similar, o abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria e a piscicultura, onde a confiabilidade de atendimento foi de 100% no cenário 2.

Portanto esta pesquisa mostrou-se importante por apresentar um diagnóstico da realidade do sistema Coremas-Mãe D' água, e a forma como opera o sistema reflete diretamente no atendimento das demandas dos usos múltiplos.

## REFERÊNCIAS

ACQUANET. **Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos - Manual do Usuário**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid). São Paulo. 2013

AESA. **Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/gestao-das-aguas>> Acessado em: 14 de jun. de 2019.

ALBERTIN, L. L.; MAUAD, F. F.; DANIEL, L. A. Uso de simulação computacional para planejamento de um sistema hídrico: estudo de caso qualitativo e quantitativo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p. 209-219, 2006.

ALCÂNTARA, L. A.; SILVA, M. C. A.; NISHIJIMA, T. Educação ambiental e os sistemas de gestão ambiental no desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, n. 5, p. 734-740, 2012.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. 2005. Disponível em:<<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>> Acessado em: 20 de jun. 2018.

\_\_\_\_\_. **Estudo da Agência Nacional de Águas aborda uso da água no setor industrial**. Disponível em:<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial>> Acessado em: 19 de out. de 2018.

\_\_\_\_\_. **Irrigação**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/usuarios-da-agua/irrigacao/irrigacao-1>> Acessado em: 21 de out. de 2018.

\_\_\_\_\_. **Indústria**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/usuarios-da-agua/industria>> Acessado em: 22 de out. de 2018.

\_\_\_\_\_. **Abastecimento**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/textos-das-paginas-do-portal/abastecimento>> Acessado em: 22 de out. de 2018.

\_\_\_\_\_. **Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água e rios Piancó e Piranhas**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/acudes-do-semiarido/sistema-curema-mae-dagua>> Acessado em: 05 de nov. de 2018.

\_\_\_\_\_. **Saiba mais – Açudes Nordeste**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/acudes-do-semiarido/saiba-mais>> Acessado em: 18 de nov. de 2018.

\_\_\_\_\_. Reservatórios do Semiárido Brasileiro, Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação. **Anexo b – Piancó-Piranhas-Açu**. 2017. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-reservatorios/anexo-b-pianco-piranhas-acu.pdf/view>> Acessado em: 18 de jun. de 2019.

\_\_\_\_\_. Curvas Cota x Área x Volume do complexo dos Açudes Coremas e Mãe d'Água. **Nota Técnica nº 001/2014/ SGI-ANA. Disponível em:** <[http://cbhpiancopiranhasacu.org.br/Docs/Notas%20tecnicas/NT%20001\\_2014\\_SGI.pdf](http://cbhpiancopiranhasacu.org.br/Docs/Notas%20tecnicas/NT%20001_2014_SGI.pdf)> Acessado em: 01 de jun. de 2019.

BUCHIANERI, V. C. **Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba** / Viviane Coelho Buchianeri. - - Piracicaba, 2004.

CAMPANER, É. C. dos S.; SILVA, H. H. R.da. **Gestão Ambiental e Responsabilidade Social: uma questão passageira?** In: III Encontro Científico E Simpósio De Educação Unisalesiano. Educação e Pesquisa: a produção do conhecimento e a formação de pesquisadores Lins, 17 – 21 de out. de 2011.

CASTANHARO, G. et al. Previsão de vazões na bacia do rio Iguaçu baseada no modelo SMAP e com incorporação de informações de precipitação. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 12 n.3 Jul/Set 2007, 57-68.

CASTRO, H. L. **Avaliação da disponibilidade hídrica para abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo com o uso de um SSD-Sistema de Suporte a Decisões.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo: São Paulo, 2003.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br>> Acessado em 06 de jul. de 2019.

FLORIANO, E. P. **Políticas de gestão ambiental.** 3 ed. Santa Maria: UFSM-DCF, 2007.

FOLEGATTI, M. V. et al. Gestão dos recursos hídricos e agricultura irrigada no Brasil. **Águas do Brasil: análises estratégicas.** São Paulo, **Academia Brasileira de Ciências e Instituto de Botânica**, p. 15-24, 2010.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6.ed. São Paulo: Atlas, 2009.  
HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. **Introdução à Pesquisa Operacional.** São Paulo : McGraw-Hill, 2006.

IBGE. **Índice Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acessado em: 14 de jun. de 2019.

LIMA, C. A. G. **Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piancó, situada no estado da Paraíba.** 2004. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2004.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. **SMAP - A Simplified Hydrological Model, Applied Modelling in Catchment Hydrology**, Ed. V.P.Singh, Water Resources Publications, 1982.

MOURA, E. M.de.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, R, R, M.de. Avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica no trecho do Rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-mãe D'

água e Armando Ribeiro Gonçalves. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**  
Volume 16 n.4 - Out/Dez 2011, 07-19.

PEIXINHO, F. C. Gestão sustentável dos recursos hídricos. Anais dos XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. **Revista Águas Subterrâneas**, 2010.

PRH – PPA **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó- Piranhas-Açu**: Resumo Executivo. Brasília, 2016.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Rio Grande do Sul, 2013.

RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D. de. Estrutura legal das águas no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Gestão de Água na América Latina**. Vol.10, no.1, p.17-28, jan./jun.2013.

SANTOS, K. P. dos; KOPP, K.; OLIVEIRA, W. N. de. Métodos de avaliação rápida da integridade ambiental aplicados à Bacia do Ribeirão Sozinha, Goiás. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre – RS, abr./jun. 2015.

SANTOS, V. da S. **Modelo de otimização quali-quantitativo multiobjetivo para o planejamento dos recursos hídricos superficiais, com aplicação à Bacia do Rio Paraíba**. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Educação Ambiental. Cadernos de Educação Ambiental. **Recursos hídricos**. Vários autores. São Paulo: SMA / CEA, 2014.

SILVA, U. R. dos S.; LUZ, L. D. da. **Estudo de aplicabilidade do modelo hidrológico smap numa sub-bacia do Rio Itapicuru- Mirim/BA**. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília-DF, 2015.

VIEIRA, A. S. **Modelo de simulação quali-quantitativo multiobjetivo para o planejamento integrado dos sistemas de recursos hídricos**. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2011.

WWF-Brasil. **Cadernos de educação ambiental água para vida, água para todos**: livro das águas / André de Ridder Vieira texto; Larissa Costa e Samuel Roiphe Barrêto coordenação – Brasília: WWF-Brasil, 2006.

## ANEXOS

### Anexo 1: Dados pluviométricos reservatório Coremas e Mãe de Água.

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1963	70,7	323,3	395,1	164,57	34,85	10,72	0,05	0	1,02	26,7	34,27	249,6
1964	200,15	277,3	623,57	546,36	122,07	70,22	14,42	27,12	16,32	0,9	33,87	19,67
1965	230,6	42,6	433,65	409,35	66,37	97,7	11,05	1,28	4,47	25,67	5,65	5,27
1966	46,65	228,6	53,8	100,4	110,95	87	16,55	0	5,5	0	61,37	23,87
1967	47,05	398,67	572,02	689,9	320,15	38,5	16,62	10,45	0	0,05	0	55,62
1968	103,12	111,15	542,42	193,95	368,9	26,65	22,32	8,4	0	11,4	20,22	59,47
1969	124,37	54,5	394,87	325,25	86,4	54,92	101,75	2,1	4,07	2,57	0	12,55
1970	230,15	67,15	340,42	178,07	9,77	12,2	15,17	8,25	6,3	3,62	9,5	1,75
1971	145,35	207,27	312,22	469,35	257,32	121,8	32,02	10,37	18,7	32,52	2,55	5,42
1972	199,7	141,85	255,4	216,87	86,22	103,32	23,47	84,6	5,15	33,05	0	51,82
1973	112,925	69,67	234,35	715,25	255,27	82,37	58,15	3,5	6,87	23,55	2,35	73,82
1974	342,05	413,37	407,4	602,5	211	83,57	52,75	15,4	18,82	27,35	93,4	57,3
1975	129,47	338,81	346,25	351,05	186,15	100,87	94,27	14,27	7	11,97	5,05	35,97
1976	46,92	228,8	208,12	148,97	67,55	22,05	6,02	0,37	4,95	66,1	15,62	39,45
1977	114,4	239,37	436,97	435,87	133,66	72,65	38,32	5	5,22	0	0	59,97
1978	29,5	147,85	164,5	156,12	125,42	94,17	36,45	12,8	21,5	0	14,6	1,27
1979	84,45	207,42	187,92	121,67	118,37	20,32	16,82	9,45	7,55	2,5	24,40	0
1980	121,37	296,27	226,35	33,55	5,8	29,42	14	0,25	0,75	1,25	64,4	8,02
1981	171,6	38,7	316,9	47,27	0,25	1	0	0	0	0	52,7	60,95
1982	39,92	68,82	171,47	249,17	79,05	4,25	1,25	0	4,5	8,75	15,57	5,05
1983	43,37	176,37	194,3	87,77	5,87	2,87	5,05	7,07	0	0	1,85	11,6
1984	71,82	9,87	261,9	398,32	182,35	11,8	17,05	6,42	2,6	10,3	21,87	56,62
1985	254,62	417,22	321	544,72	196,57	168,62	30,5	6,7	7,5	13,8	0	119,15
1986	136,65	254	403,62	270,1	73,05	44,65	40,6	12,32	0,23	2,5	89	10
1987	45,37	138,97	396,02	102,47	7,87	30	4,35	0	0	4	0	0
1988	48,07	142,3	266,3	477,07	113,65	20	23,57	0	0	1	1,5	88,02
1989	87,82	70,22	198,07	441,12	225,87	73,87	87,02	5,65	0	10,25	0	108,67
1990	111,12	136,72	323,42	47,89	29,84	0	6,51	0	0	6,38	0	0
1991	102,27	155,8	279,92	79,55	192,82	14,17	0	0	0	0	0	0
1992	79,27	202,19	235,77	118,58	26,58	64,41	22,72	9,90	15,88	0,69	2,82	0,83
1993	32,64	37,07	63,16	58,81	40,65	11,89	26,07	0	0,31	17,15	2,09	0,63
1994	260,42	160,85	278,87	186,85	131,45	145,45	30,87	4,9	0	8,07	0	28,27
1995	72,15	139,85	129,52	245,07	306,25	27	27,3	0	0	0	120,6	5,3
1996	103	133,42	239,65	301,62	146,77	53,55	14,1	13,07	0,75	1,62	37,35	18,1

<b>1997</b>	234,375	51,3	271,67	128,9	106,2	8,4	2,92	9,8	0	2,17	26,77	53,47
<b>1998</b>	84,725	102,87	99,27	115,45	1,15	0	15,82	1,87	2,57	0	5,1	5,57
<b>1999</b>	72,35	31,3	191,8	58,9	182,85	1,12	3,35	0	0	32,8	25,65	37,8
<b>2000</b>	95,3	238,17	190,47	222,27	41,025	31,35	36	33,22	6,22	0	0	54,97
<b>2001</b>	22,5	97	301,15	71,4	2,42	47,45	5,5	2,32	1,25	19,4	4,87	50,97
<b>2002</b>	512,75	83,22	218,55	88,65	120,92	64,25	3,95	0	1,82	2,05	0	3,07
<b>2003</b>	219,47	158,62	194,62	163,55	30,12	4,92	10,12	0	2	0	3,8	23,8
<b>2004</b>	505,37	279,7	90,17	50,975	98,77	89,7	21,47	7,25	0	0	0,7	39,4
<b>2005</b>	55,37	104,15	222,12	91,25	46,65	38,5	1,1	10	0	0	0	77,92
<b>2006</b>	1	188,32	299,62	362,42	118,8	31,45	7,85	0	0,25	8,47	0,25	17,97
<b>2007</b>	73,9	261,9	161,12	160,65	73,12	14,8	11,87	3,1	0	0	6,6	18,76
<b>2008</b>	88,25	197,95	528,82	272,97	196,85	24,4	17,9	1,25	0	0	0	19,5
<b>2009</b>	89,52	171,9	160,4	425,12	272,55	27,77	26,9	22,45	0	7,67	5,65	61,37
<b>2010</b>	124,82	56,72	62,15	137,52	8,95	96,32	0,75	0	0	99,7	0	93,57
<b>2011</b>	209,6	155,2	66,7	167,45	178,12	7,27	7,4	0	0	53,27	16,22	9,7
<b>2012</b>	24,17	99,97	64,7	48,22	14,57	8,02	0	0	0	0	0	0,4
<b>2013</b>	39,47	44,22	141,62	120,62	50,6	94,87	41,57	16,27	0	14,67	10,67	69,65
<b>2014</b>	57,85	71,27	295,25	202,62	93,97	11,75	20,3	2,5	0,82	14,6	24,6	10,625
<b>2015</b>	45,27	52,27	212,85	90,8	6,75	15,72	36,57	0	0	2,7	0	14
<b>2016</b>	222,07	59,15	195,35	79,75	18,025	3,87	0	0	2,45	0	0	4,55
<b>2017</b>	28,82	163,7	106,72	129,35	81,7	41,9	41,47	0	0,25	0	1,6	1,1
<b>2018</b>	69,05	238	91,6	160,42	34,32	0	2,5	0	0	0	20,77	58,7

## Anexo 2: Vazões Naturais Observadas.

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1963	0,123	13,062	118,535	43,651	6,569	2,807	0,018	0,001	0,003	0,024	0,017	1,581
1964	13,925	57,803	164,340	204,280	43,920	17,191	2,880	0,951	0,899	0,036	0,063	0,040
1965	1,873	0,953	24,428	122,403	14,013	28,490	1,030	0,413	0,068	0,073	0,005	0,008
1966	0,061	2,184	2,262	4,800	3,519	3,871	1,314	0,039	0,099	0,001	0,057	0,081
1967	0,068	13,532	197,279	392,061	96,660	4,973	1,563	0,344	0,082	0,002	0,006	0,063
1968	0,504	0,866	123,118	37,071	74,814	5,398	1,721	0,105	0,002	0,011	0,018	0,052
1969	0,723	1,330	20,974	66,937	22,967	10,135	9,701	0,310	0,063	0,006	0,002	0,029
1970	2,035	3,208	21,865	23,568	1,133	0,267	0,304	0,034	0,005	0,021	0,006	0,001
1971	0,897	19,829	89,916	245,975	70,377	26,762	5,914	0,317	0,398	0,200	0,028	0,011
1972	0,803	4,526	27,233	37,475	15,304	10,358	2,814	2,951	0,042	0,125	0,000	0,262
1973	1,291	2,734	10,001	250,017	55,106	22,746	6,635	0,934	0,557	0,247	0,012	0,137
1974	7,984	126,015	229,052	338,332	60,299	12,268	4,199	0,326	0,232	0,100	0,436	0,662
1975	1,880	23,269	146,768	146,788	47,186	25,407	22,562	1,517	1,135	0,098	0,037	0,134
1976	0,108	5,850	33,773	27,946	4,979	0,922	0,073	0,002	0,251	0,313	0,196	0,139
1977	1,174	13,717	89,046	207,232	84,982	29,427	16,360	0,316	0,041	0,033	0,013	0,298
1978	0,262	3,516	10,816	23,691	15,601	5,805	3,887	0,128	0,375	0,037	0,025	0,010
1979	0,392	5,358	31,802	46,662	22,056	2,324	0,469	0,208	0,086	0,000	0,000	0,000
1980	0,109	13,243	32,543	2,868	0,163	0,752	0,181	0,000	0,004	0,006	0,079	0,043
1981	0,433	0,712	50,257	10,709	0,151	0,034	0,016	0,006	0,000	0,000	0,005	0,056
1982	0,047	0,124	0,932	9,125	4,414	0,480	0,185	0,007	0,016	0,005	0,003	0,004
1983	0,033	1,820	10,058	9,119	0,679	0,172	0,141	0,036	0,000	0,000	0,000	0,001
1984	0,017	0,038	6,980	130,687	45,609	1,632	1,246	0,417	0,057	0,029	0,018	0,012
1985	9,872	181,777	166,096	359,080	66,302	49,210	5,845	0,547	0,167	0,063	0,018	1,439
1986	3,258	25,693	125,934	124,241	16,790	5,698	5,546	1,337	0,061	0,019	0,295	0,024
1987	0,202	1,695	35,628	27,809	1,228	3,972	1,430	0,077	0,008	0,003	0,000	0,000
1988	0,022	0,546	14,517	125,845	15,722	4,941	2,094	0,293	0,028	0,008	0,003	0,262
1989	0,742	0,578	8,490	84,388	72,792	14,972	9,188	0,761	0,070	0,471	0,031	1,693
1990	0,257	1,579	1,400	18,500	7,156	1,814	0,589	0,230	0,071	0,001	0,010	0,001
1991	0,138	2,122	13,429	8,125	15,389	1,134	0,154	0,073	0,003	0,002	0,004	0,000
1992	0,023	2,237	21,950	18,635	4,062	7,682	2,180	0,431	0,140	0,006	0,007	0,000
1993	0,014	0,011	0,042	0,107	0,148	0,043	0,081	0,007	0,006	0,015	0,001	0,001
1994	4,136	20,780	61,356	54,479	47,457	36,860	4,165	0,204	0,092	0,050	0,000	0,113
1995	0,356	2,860	18,875	63,489	79,736	7,628	2,900	0,065	0,000	0,000	0,347	0,043
1996	0,572	3,773	25,103	62,783	40,175	7,006	1,019	0,676	0,072	0,010	0,117	0,059
1997	2,644	1,988	24,026	27,490	19,171	2,061	1,062	0,331	0,000	0,027	0,081	0,184
1998	0,635	0,736	2,069	2,976	0,029	0,063	0,061	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000

1999	0,037	0,227	12,478	3,859	13,699	0,354	0,370	0,004	0,001	0,026	0,041	0,226
2000	1,241	14,082	27,803	71,567	10,563	3,700	1,862	0,694	0,162	0,020	0,000	0,122
2001	0,041	0,460	17,247	6,071	0,654	1,110	0,184	0,027	0,006	0,022	0,002	0,108
2002	47,831	14,612	43,476	16,643	13,916	3,797	1,276	0,028	0,018	0,003	0,003	0,016
2003	2,534	10,171	35,993	27,554	6,127	1,142	0,337	0,055	0,028	0,004	0,012	0,008
2004	48,994	125,933	28,335	9,548	14,631	6,485	1,524	0,249	0,000	0,000	0,002	0,024
2005	0,121	0,403	18,229	9,066	4,901	3,864	0,176	0,157	0,000	0,000	0,000	0,063
2006	0,004	2,341	72,325	145,069	46,409	6,420	1,338	0,063	0,021	0,050	0,004	0,009
2007	0,062	10,901	20,201	19,188	9,003	1,001	0,220	0,023	0,003	0,002	0,003	0,002
2008	0,183	4,481	260,206	110,769	61,272	5,453	2,931	0,290	0,039	0,000	0,001	0,011
2009	0,415	5,502	13,573	115,818	128,227	6,373	3,992	1,949	0,011	0,134	0,023	0,107
2010	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2011	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2012	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2013	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2014	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2015	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2016	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2017	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173
2018	3,385	15,940	53,420	82,862	29,491	8,404	2,845	0,382	0,115	0,049	0,043	0,173

### Anexo 3: Cota x Área x Volume – Reservatório Coremas

<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup> x 10<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup> x 10<sup>3</sup>)</b>
206,00	0	0
208,00	0,09	0,07
210,00	0,44	0,55
212,00	1,06	2,04
214,00	1,77	4,87
217,00	2,87	11,84
218,00	3,24	14,90
220,00	4,03	22,16
221,00	4,47	26,41
222,00	5,11	31,19
223,00	5,93	36,70
223,50	6,45	39,80
224,00	7,04	43,17
225,00	8,26	50,82
226,00	9,64	59,74
228,00	12,47	81,79
229,00	14,01	95,02
230,00	15,72	109,8
232,00	19,69	145,2
232,64	20,79	158,23
*245,00	59,30	591,64*

\* Valor da última cota utilizada na simulação do sistema como um só.

#### Anexo 4: Cota x Área x Volume – Reservatório Mãe de Água

Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup> )
208,00	0	0
212,00	0,05	0,04
213,00	0,17	0,14
214,00	0,37	0,41
216,00	0,88	1,63
217,00	1,23	2,68
218,00	1,62	4,10
220,00	2,47	8,18
221,00	2,98	10,90
222,00	3,60	14,18
223,00	4,38	18,17
224,00	5,30	22,99
225,00	6,44	28,84
226,00	7,73	35,92
228,00	10,75	54,33
229,00	12,32	65,87
230,00	13,90	78,98
232,00	17,78	110,40
234,00	22,77	151,51
234,15	23,17	154,96
*245,00	38,40	597,99*

\* Valor da última cota utilizada na simulação do sistema como um só.