



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**  
**CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR - CCTA**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL - UACTA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DANILO ROBERTO DE SOUSA LEANDRO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD) PARA  
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA COM UTILIZAÇÃO DE REGRAS DE ALOCAÇÃO**

POMBAL - PB

2021

DANILO ROBERTO DE SOUSA LEANDRO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD) PARA  
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA COM UTILIZAÇÃO DE REGRAS DE ALOCAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG Campus Pombal, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Valter Ferreira de Sousa Neto

POMBAL - PB

2021

L828d

Leandro, Danilo Roberto de Sousa.

Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão (SAD) para reservatórios de água com utilização de regras de alocação. / Danilo Roberto de Sousa Leandro. - Pombal, 2021.

64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Me. Valter Ferreira de Sousa Neto."

Referências.

1. Recursos hídricos. 2. Reservatório de água. 3. SAD - software. 4. Gestão de recursos hídricos. 5. Água - reservatório - alocação. I. Sousa Neto, Valter Ferreira de. II. Título.

CDU 556.18(043)

DANILO ROBERTO DE SOUSA LEANDRO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD) PARA  
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA COM UTILIZAÇÃO DE REGRAS DE ALOCAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG Campus Pombal, como requisito para  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil.

Aprovado em: 14 / 05 / 2021

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Msc. Valter Ferreira de Sousa Neto

Orientador

UACTA/UFCG




---

Prof. Msc. Eduardo Moraes de Medeiros

Examinador Interno

UACTA/UFCG



---

Prof. Dr. Gerald Norbert Souza da Silva

Examinador Externo

DECA/UFPB

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, em seu infinito amor;  
e aos meus pais Francisco e Maria.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo, guiando meu caminho, por me dar cada dia, por me permitir superar as adversidades, por me dar o dom do conhecimento para entender algumas coisas e por me fazer saber que Ele está sempre junto.

À minha família, por me apoiar nessa caminhada, meu pai Francisco das Chagas Leandro e minha mãe Maria Goreth pelo bons exemplos que sempre me passaram. Meus irmãos Daniel, Junior e David pelo companheirismo.

Ao meu orientador, professor Valter, pela confiança, orientação e bom humor.

A professora Érica Machado, pelo incentivo e valiosas contribuições neste trabalho.

Aos membros da banca examinadora deste trabalho, professores Gerald Norbert e Eduardo Morais, pelas importantes correções.

As pessoas, com quem comecei o curso sendo colegas e ao longo dessa caminhada se tornaram bons amigos e com quem tive a oportunidade de passar bons momentos de aprendizado, em especial à Maelle Guedes por ser essa pessoa maravilhosa e exemplo de bondade, José Stenio, José Gomes, Jalles Tura e Márcia Mirelly.

Aos professores e funcionários da Universidade Federal de Campina Grande, com os quais tive a oportunidade de conviver e que contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

A todos os outros que diretamente ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa etapa de minha vida.

Não tenho eu te ordenado? Sê forte e de boa coragem; não temas, tampouco fiques desanimado pois o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que fores." (Josué 1: 9)

## RESUMO

Neste trabalho foi realizado o melhoramento e adição de funcionalidades ao protótipo do software SADAgua, sendo este do tipo Sistema de Apoio à Decisão para Gestão de Reservatórios de Água, desenvolvido em 2017. Este software foi concebido tendo por objetivo modelar e auxiliar a operação de um reservatório, e suas principais funcionalidades são a modelagem do balanço hidrológico do reservatório, o cadastro de usuários e cálculo do impacto do consumo destes no volume de água, a integração de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para visualização da localização espacial do reservatório e seus usuários, e por fim um componente de alocação do recurso de maneira a satisfazer as demandas dos usuários da água, sobretudo em períodos de escassez, ao mesmo tempo em que busca uma operação racional e sustentável do reservatório. Dentre as melhorias realizadas neste trabalho o destaque se concentra na implementação de um sistema de alocação, modificado para se comportar de maneira semelhante ao método utilizado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica – Piancó-Piranhas-Açu (CBH – PPA) para gestão de reservatórios da bacia, outras mudanças também incluem ajustes e melhorias na interface gráfica, maior facilidade de uso, e também a correção de defeitos existentes na versão anterior utilizando o feedback recebido por alunos durante o seu uso em disciplina de PGRH e TCC. Também foi realizado um estudo de caso utilizando a nova versão do software no reservatório Saco pertencente a bacia PPA, com dados observados entre 2013-2017 e comparados com os resultados calculados para validação do software, em que foi obtida uma margem de erro satisfatória.

**Palavras-chave:** Alocação de água, Gestão de recursos hídricos, Desenvolvimento de Software.



## ABSTRACT

In this work, the SADAgua software prototype was improved and functionalities were added. It is a Decision Support System for Water Reservoir Management, developed in 2017. This software was designed to model and assist the operation of a reservoir, and its main functionalities are the modeling of the reservoir's hydrological balance, the registration of users and calculation of the impact of their consumption on the water volume, the integration of a Geographic Information System (GIS) to visualize the spatial location of the reservoir and its users, and finally a resource allocation component to satisfy the demands of water users, especially during periods of scarcity, while seeking a rational and sustainable operation of the reservoir. Among the improvements made in this work, the highlight goes to the implementation of an allocation system, modified to behave in a similar way to the method used by the Piancó-Piranhas-Açu River Basin Committee (CBH - PPA) for reservoir management in the basin. Other changes also include adjustments and improvements in the graphical interface, greater ease of use, and also the correction of defects in the previous version using feedback received by students during its use in PGRH courses and final graduation work. A case study was also conducted using the new version of the software in the Saco reservoir belonging to the PPA basin, with data observed between 2013-2017 and compared with calculated results for validation of the software, in which a satisfactory margin of error was obtained.

**Keywords:** Water Allocation, Water Resources Management, Software Development.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do Padrão de Projeto MVC .....	21
Figura 2 - Diagrama de Classes SADÁguas 1.0.....	22
Figura 3 - Diagrama UML de Entidade-Relacionamento .....	25
Figura 4 – Esboço da Interface Gráfica de Usuário.....	26
Figura 5 –Tela de Projeto (Esquerda).....	27
Figura 6 – Tela de Projeto (Direita).....	27
Figura 7 – Tela de Reservatório (Esquerda).....	28
Figura 8 – Tela de Reservatório (Direita).....	29
Figura 9 - Exemplo de arquivo CSV utilizado para CAV .....	30
Figura 10 – Tela de carregamento de arquivo CSV .....	31
Figura 11 – Tela de Precipitação (Direita) .....	31
Figura 12 – Exemplo de arquivo CSV de Precipitação .....	32
Figura 13 – Tela de Evaporação (Direita) .....	32
Figura 14 - Exemplo de arquivo CSV de Evaporação.....	33
Figura 15 – Tela de Afluência (Direita) .....	33
Figura 16 - Exemplo de arquivo CSV de Afluência.....	34
Figura 17 – Tela de Infiltração e Perdas (Esquerda) .....	34
Figura 18 – Dados de outorga .....	35
Figura 19 – Tela de Usuários (dividida em 02 partes) .....	35
Figura 20 – Tela de Sistema de Informações Geográficas .....	37
Figura 21 – Janela de informações do SIG.....	38
Figura 22 – Tela de carregamento de arquivo SHP .....	39
Figura 23 – Ordem das camadas do mapa do SIG .....	40
Figura 24 – Tela de Alocação (dividida em 02 partes) .....	41
Figura 25 – Exemplo de Estados Hidrológicos e Condições de Uso - Açude Curema.....	41
Figura 26 – Repres. Gráfica dos Estados Hidr. e Condições de Uso - Açude Curema.....	42
Figura 27 – Tela de Reservatório (Gráfico)- Volume (%) x Tempo (mês).....	42
Figura 28 – Tela de Reservatório (Tabela)- Volume (%) x Tempo (mês) .....	42
Figura 29 – Gráfico de Resultados do Balanço Hídrico SAD x Observados AESA .....	47
Figura 30 – Regras de alocação e exemplo de alocação para usuário .....	47
Figura 31 – Gráfico de Resultados do BH SAD x Observados AESA x SAD Alocação .....	48
Figura 32 – Interface gráfica do SADÁguas 1.0. ....	54
Figura 33 - Representação Esquemática do Modelo MODHAC. ....	63
Figura 34 - Sistema de Reservatórios da Bacia dos Rios Piancó-Piranhas-Açu .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Precipitação e Evaporação, Açude Saco de Nova Olinda .....	44
Tabela 2 – Precipitação Anual, Açude Saco 2013-2017 .....	45
Tabela 3 - Coeficientes das Classes de Ano Água, Açude Saco de Nova Olinda.....	45
Tabela 4 – Dados do Reservatório.....	45
Tabela 5 – Dados de vazões médias mensais afluentes ao reservatório.....	46
Tabela 6 - Dados de vazões médias mensais de infiltração ao reservatório.....	46
Tabela 7 – Demandas (vazões de retirada) do Açude Saco.....	46
Tabela 8 - Informações do Reservatório em estudo, Açude Saco de Nova Olinda.....	60
Tabela 9 - Dados de Cota Área e Volume do Açude Saco de Nova Olinda. ....	61
Tabela 10 – Vazões Médias Mensais do Açude Saco de Nova Olinda.....	62

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

ANA – Agência Nacional de Águas

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CCTA – Centro de Ciência e Tecnologia Ambiental

CSV – Comma Separated Values

MODHAC - (Modelo Hidrológico Auto Calibrável)

MVC – Modelo-Visão-Controlador

PPA – Piancó-Piranha-Açu

PRH – Planejamento de Recursos Hídricos

PDRH-PB – Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

SAD – Sistemas de Apoio a Decisão

SGBD – Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados

SIG – Sistema de Informações Geográficas

UACTA – Unidade Acadêmica de Ciência e Tecnologia Ambiental

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

UML – Unified Modeling Language

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos .....	14
3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
5	METODOLOGIA .....	20
5.1	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE.....	21
5.1.1	ARQUITETURA .....	21
5.1.2	MODELAGEM DO PROBLEMA .....	24
	Projeto .....	26
	Cenário .....	27
	Reservatório .....	28
	Usuários.....	35
	Sistema de Informações Geográficas (SIG).....	37
	Alocação de Água por Regras .....	40
	Volume x Tempo.....	42
	Modelo de Balanço Hídrico .....	43
5.2	TESTE E VALIDAÇÃO .....	43
	Caracterização da Área de Estudo – Açude Saco .....	43
	Identificação das demandas do Reservatório .....	46
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
6.1	Açude Saco / 2013-2017 .....	47
6.2	Análise dos Resultados .....	48
7	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
	APÊNDICE .....	54
	ANEXOS.....	60

## 1 INTRODUÇÃO

O progressivo aumento da demanda por água e a irregularidade do regime pluviométrico no semiárido tem levado os níveis dos reservatórios a condições alarmantes, culminando com o estabelecimento de racionamentos e consequente colapso no fornecimento regular de água em diversos pontos do país e em especial no Sertão Paraibano (MACHADO, 2011).

A gestão das águas diante deste cenário requer dos órgãos competentes pela sua alocação, rápidas respostas acerca do quantitativo a ser alocado a cada usuário, de modo a garantir o atendimento aos múltiplos usos da água, levando em consideração as diversas prioridades, objetivos e critérios estabelecidos, como também as restrições técnicas, de maneira sustentável.

Neste contexto os Sistemas de Apoio a Decisão (SAD) voltados à alocação de água já são uma realidade em diversas instituições pelo país, entretanto, o nível de sucesso de sua aplicação, efetiva adoção e forma de operação variam significativamente entre estas por diversos fatores.

Dentre tais fatores destaca-se a dificuldade de adoção pelos órgãos competentes de softwares que auxiliem a tomada de decisão, pois, tais sistemas devem apoiar e assessorar o gestor, permitindo, contudo, a introdução de julgamentos subjetivos, além de ter uma interface amigável e responder, de forma rápida e eficiente a diversos cenários.

Os sistemas de apoio a decisão são cada vez mais utilizados no gerenciamento de recursos naturais, devido à complexidade dos processos envolvidos. À medida que a complexidade dos processos aumenta, se torna cada vez mais difícil um processo de tomada de decisão baseada apenas na experiência e julgamento da equipe encarregada, logo surge a necessidade de se utilizar meios para armazenamento e análise dos dados como um facilitador da tomada de decisão.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é atualizar e melhorar um Sistema de Apoio à Decisão já desenvolvido pelo próprio autor em 2017 voltado à alocação de água em reservatórios com algumas características próprias dentre as quais: modelagem da inerente complexidade do problema considerando os múltiplos objetivos e restrições estabelecidas na legislação, facilidade de utilização pelo usuário e de acoplamento com outros sistemas, e em especial, a implementação do método de alocação por regras em 03 (três) estados diferentes utilizado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Atualizar o protótipo inicial do Sistema de Apoio à Decisão - SAD Águas 0.8, desenvolvido pelo autor e apresentado no XIV Congresso de Iniciação Científica da UFCG, voltado à alocação de água em reservatórios e analisar o desempenho do novo método de alocação implementado, em um reservatório real.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Análise e implementação de novo método de alocação de água, sendo este, a alocação por regras em três estados diferentes semelhante à adotada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu (CBHPPA).
- Correção de defeitos (bugs) e melhoria da usabilidade da versão anterior do SAD.
- Análise do desempenho da alocação de água do novo método implementado no SAD, em um reservatório real (Açude Saco de Nova Olinda).

### **3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

Os beneficiários deste trabalho englobam entidades públicas, como os órgãos gestores de água e comitês de bacias hidrográficas, principais usuários do SAD aqui proposto, e também a sociedade em geral, pois o mesmo poderá contribuir para o estabelecimento de um uso mais sustentável da água, e a maximização da satisfação das demandas dos usuários de água, minimizando conflitos.

Além disso, destaca-se também o benefício tecnológico e de inovação, neste caso, da atualização e melhoramento de um software, disponibilizando-o para o usuário final; e o benefício científico, visto que o mesmo poderá ser utilizado como apoio a pesquisas científicas, com o propósito de comparar a eficácia e eficiência de diferentes critérios de alocação de água.

Para a instituição, além de incentivar o desenvolvimento tecnológico e a consolidação de atividades desenvolvidas em grupos de pesquisa, destaca-se ainda a contribuição para a formação técnica e cidadã dos alunos de graduação envolvidos, e o incentivo a uma discussão mais ampla, na comunidade acadêmica, sobre a problemática envolvendo os recursos hídricos, atualmente fortemente em evidência.

Além dos benefícios acima citados, as melhorias implementadas neste trabalho, sanaram problemas e limitações específicas que foram apontadas por usuários e identificadas pelo autor ao longo do tempo de utilização do protótipo.



## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

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

O Brasil, na forma da Lei 9.433/97 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelece os seguintes fundamentos: Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a gestão deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

De acordo com Cai et al. (2002), é preciso considerar também os indicadores de sustentabilidade ambiental e classificam os critérios de alocação em: a) risco; b) critérios ambientais; c) critérios de equidade; d) critério de aceitabilidade econômica.

### **Alocação e Outorga**

A disputa por um recurso escasso, exige a definição de regras claras para assim ocorrer a pacificação dos potenciais conflitos de interesses, uma alocação racional e o instrumento da outorga de direito de uso, são instrumentos essenciais para essa tarefa, como definiram os diversos autores a seguir.

Apesar de ser um problema clássico, a alocação de água continua a ser um desafio a gestores, usuários e pesquisadores, principalmente devido ao aumento de conflitos resultantes da disputa pelo seu uso, provocados pelo aumento progressivo da demanda em um cenário de escassez relativa cada vez mais evidente (MACHADO et al. 2012).

A PNRH também estabelece instrumentos, dentre estes tem-se: os Planos de Recursos Hídricos; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Para Lopes e Freitas (2007), a gestão dos recursos hídricos deve visar à preservação dos múltiplos usos das águas e deve se dar de forma integrada, descentralizada, participativa e articulada entre os diversos órgãos gestores. Para tanto, são instituídos os instrumentos de gestão: os planos de recursos hídricos, o enquadramento de corpos hídricos em classes de qualidade da água, os sistemas de informações sobre recursos hídricos, a outorga de direito de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água.

Nunes (2015), descreve o problema em específico para as bacias hidrográficas do semiárido no interior do nordeste.

A operação desses reservatórios envolve muitas variáveis e múltiplos objetivos. Desta forma, utilizar regras de operação fixas, para reservatórios em regiões semiáridas, pode gerar, por um lado, grandes volumes de água extravasados e perdas consideráveis de água por evaporação, se a utilização da água for muito conservadora; ou, por outro lado, risco de colapso do sistema de abastecimento, caso a liberação de água seja excessiva (NUNES, 2015).

A sustentabilidade hídrica do sistema depende deste planejamento integrado eficiente e racional da alocação ou realocação das disponibilidades hídricas entre os seus múltiplos usos. Métodos de otimização estão entre os instrumentos mais apropriados para efetuar tais análises (SANTOS et al., 2011).

A outorga de direito de uso da água é o instrumento legal de alocação entre os diversos usos da bacia hidrográfica. Este instrumento visa uma distribuição da água de modo a atender as necessidades ambientais, econômicas e sociais, reduzir ou eliminar conflitos entre usuários e possibilitar o atendimento das demandas futuras (Silva e Monteiro, 2004).

### **Sistemas de Apoio a Decisão**

Com o intuito de realizar a complexa tarefa de operação do reservatório, geralmente são utilizados Sistemas de Apoio à Decisão, dentre eles tem-se diversas alternativas diferentes como a Planilha HIDRO e o sistema AcquaNet entre outros.

Segundo Nunes (2015) o Hidro foi desenvolvido originalmente em 1997 e sofreu modificações em 2004, com a colaboração do Departamento de Sistemas da Computação (DSC) e da Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba (AAGISA), atual AESA. O Hidro é um tipo de modelo para operação de reservatórios, podendo auxiliar na tomada de decisões sobre sua operação.

ANA (2017) definiu o AcquaNet como um sistema computacional de apoio à decisão, e que foi selecionado entre outros sistemas avaliados, principalmente devido a ser um software de utilização livre, de fácil operacionalização e já amplamente aplicado em outros estudos da ANA realizados para o Semiárido brasileiro.

A seguir diversos autores destacam a importância desses sistemas.

O Sistema de Suporte à Decisão (SSD) é uma metodologia de auxílio à tomada de decisões e possibilita tratar e resolver os problemas de gerenciamento de recursos hídricos de forma mais rápida e eficiente, auxiliando os decisores a refletirem sobre seus problemas de forma mais clara e objetiva (ZORZAL, 2009).

Algumas ferramentas de suporte à decisão recentemente desenvolvidas para alocação de água em bacias, destacam a importância de considerar integradamente as questões de qualidade e quantidade da água e considerar múltiplos critérios nessa alocação (AZEVEDO et al., 2000; BABEL et al. 2005).

### Desenvolvimento de Software

Contudo, admite-se que o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para alocação da vazão excedente não é tarefa fácil, posto que são necessários o envolvimento e a integração de inúmeras variáveis e métodos, os quais devem ser estruturados e acoplados em um modelo de otimização apropriado (MACHADO, 2011).

Para avaliar o desempenho de um mecanismo de alocação, Howe et al. (1986) definiram os seguintes critérios de alocação: a) flexibilidade na alocação; b) segurança no direito de uso para usuários estabelecidos; c) pagamento do custo de oportunidade real do fornecimento pelo usuário; d) previsibilidade do processo de alocação; e) equidade do processo de alocação; f) aceitação política e pública, ou seja, aceitação dos valores e objetivos da alocação pelos diversos setores da sociedade.

No SADAgua foi utilizado um modelo de balanço hídrico de reservatório semelhante ao utilizado no estudo realizado pela Agência Nacional de Águas em 2017, com algumas adaptações (o software não considera o volume vertido), a seguir a equação utilizada pela ANA.

#### Equação do Balanço Hídrico – Relatório Síntese

$$Vr_i = Vr_{i-1} + Va_i + Vp_i - Ve_i - Vv_i - Qab_i$$

Com:

- $Vr_i$  = volume armazenado no mês i
- $Vr_{i-1}$  = volume armazenado no mês i-1
- $Va_i$  = volume afluyente ao reservatório no mês i
- $Vp_i$  = volume precipitado diretamente sobre o espelho d'água no mês i
- $Ve_i$  = volume evaporado no reservatório no mês i
- $Vv_i$  = volume vertido no mês i
- $Qab_i$  = volume regularizado ou retirado no mês i

Fonte: ANA, 2017.

Song e Kim (2009) destacam que é necessário que os resultados obtidos pelos Sistemas de Apoio a decisão sejam traduzidos para uma linguagem clara e de fácil entendimento, visando a usabilidade pelo usuário.

Tendo como base o exposto acima, neste trabalho foi desenvolvido um SAD, mas com características e funções específicas, já citadas anteriormente, dentre elas, em especial, uma alocação baseada em regras claras e realizada de maneira determinística, como também, foi melhorada uma das limitações da versão anterior do mesmo, como destacado a seguir.

O SADAgua possui uma interface de fácil utilização, porém é perceptível uma certa limitação, principalmente no que diz respeito as regras de operação, existindo espaço para apenas uma regra, sendo a aplicação de mais regras devendo ser realizada de forma manual. (SILVA, 2018).

## 5 METODOLOGIA

O protótipo do software foi anteriormente implementado utilizando a linguagem de programação Java, a qual possui diversas características importantes como a ampla utilização, código-aberto e portabilidade, esta última permite que o mesmo seja mais facilmente portado para diferentes plataformas como Microsoft Windows e Linux, facilitando sua adoção por diferentes instituições e indivíduos, assim, este trabalho segue utilizando a mesma tecnologia da versão anterior SADAgua 0.8, dando continuidade ao código escrito anteriormente.

A arquitetura do software segue o padrão de desenvolvimento Modelo-Visão-Controlador (MVC) esta abordagem é composta por três tipos de objetos. O Modelo é o objeto de aplicação, a Visão é a apresentação na tela e o controlador é o que define a maneira como a interface de usuário tende a agrupar esses objetos (GAMMA *et al.*, 2000).

“O modelo MVC vem justamente para facilitar a separação do *layer* visual da aplicação do domínio e do negócio. Na definição formal de MVC, a atualização da view é feita através de observers que são notificados dos eventos ocorridos nos modelos, uma visão muito ligada às aplicações desenvolvidas na época para Desktop. Mas, apesar da definição formal desse padrão ou das interpretações que o mercado adotou do MVC, a característica de maior valor é a de separar os componentes de apresentação do resto da aplicação (conhecido como Separated Presentation).” (SILVEIRA *et al.*, 2011)

Durante a fase de desenvolvimento do software houve a participação de potenciais usuários do SAD como alunos e professores interessados nesta área, a fim de tentar modelar e automatizar a prática rotineira adotada para alocação de água, disponibilizando-a como mais uma opção de solução e facilitando assim a sua adoção. Além disso, a participação destes usuários propiciou o teste do software como um todo e o aperfeiçoamento da sua interface.

No contexto de interação homem-máquina definiu-se por uma interface gráfica e fazendo uso extensivo do mouse, seguindo as linhas gerais de usabilidade de aplicações modernas permitindo um uso intuitivo.

Outro ponto importante de interação foi permitir a entrada de dados com base em arquivos gerados por outros softwares, visto que os entes envolvidos nessa problemática provavelmente utilizam os mais diversos programas para armazenagem dos dados relacionados como Planilhas Eletrônicas e Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBD).

Para atingir os objetivos supracitados foi feita uma avaliação das bases existentes dos possíveis usuários do software para que um formato compatível possa ser implementado e que, se possível, este siga algum dos diversos padrões da indústria. Esse recurso existirá em adição ao método tradicional de entrada de informações manualmente no próprio software e seu

objetivo é apenas facilitar a entrada de grandes quantidades de dados, reduzindo a possibilidade de erro humano.

Na implementação dos melhoramentos para a versão anterior nº 0.8 e desenvolvimento do produto final gerado neste trabalho, o software de alocação de água em reservatórios v1.0, também foi previsto a possibilidade futura de ampliação, de modo a permitir o gerenciamento completo da alocação de água, a nível de bacia hidrográfica, e o estabelecimento da outorga, envolvendo, neste caso, o acoplamento com outros modelos de previsão/simulação hidrológica e meteorológica. Desta forma, todo o software será concebido de modo a permitir tais ampliações e acoplamentos futuros, os quais poderão ser realizados em futuras pesquisas.

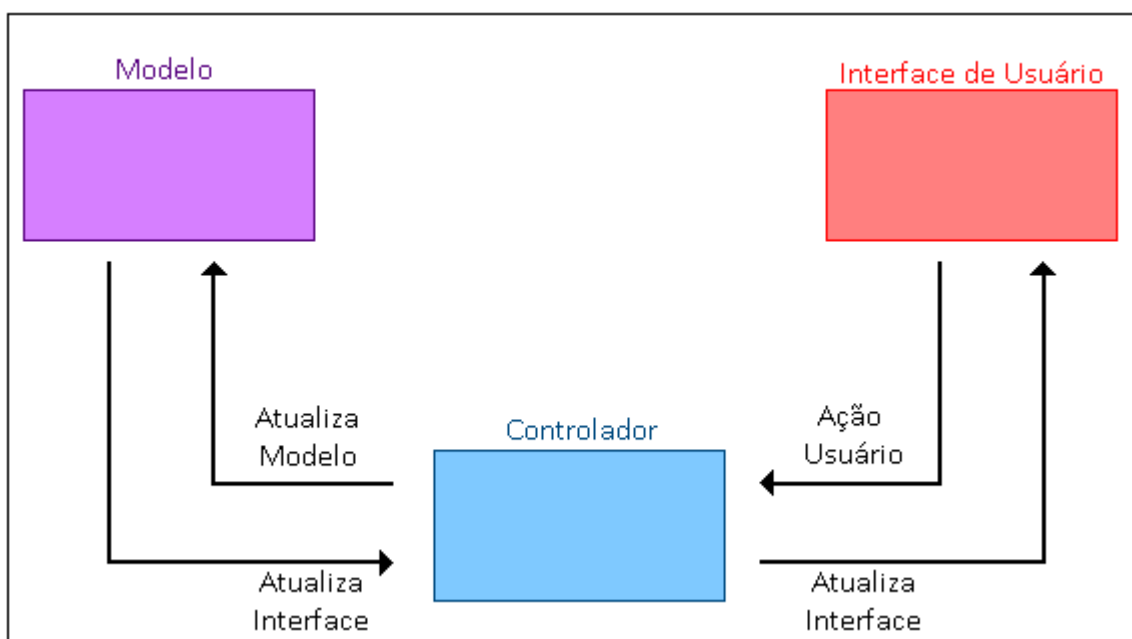
## 5.1 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O desenvolvimento deu continuidade à base de código anterior seguindo a mesma arquitetura e filosofia de programação, assim continuou seguindo o padrão de encapsulamento dos componentes, com a maioria das funcionalidades da aplicação sendo separadas em classes específicas visando facilitar o reuso e manutenção.

### 5.1.1 ARQUITETURA

Em função do encapsulamento dos componentes decorre um aumento significativo no número de classes, estas então foram agrupadas em pacotes de acordo com a função e seguindo o padrão MVC.

**Figura 1 - Diagrama do Padrão de Projeto MVC**

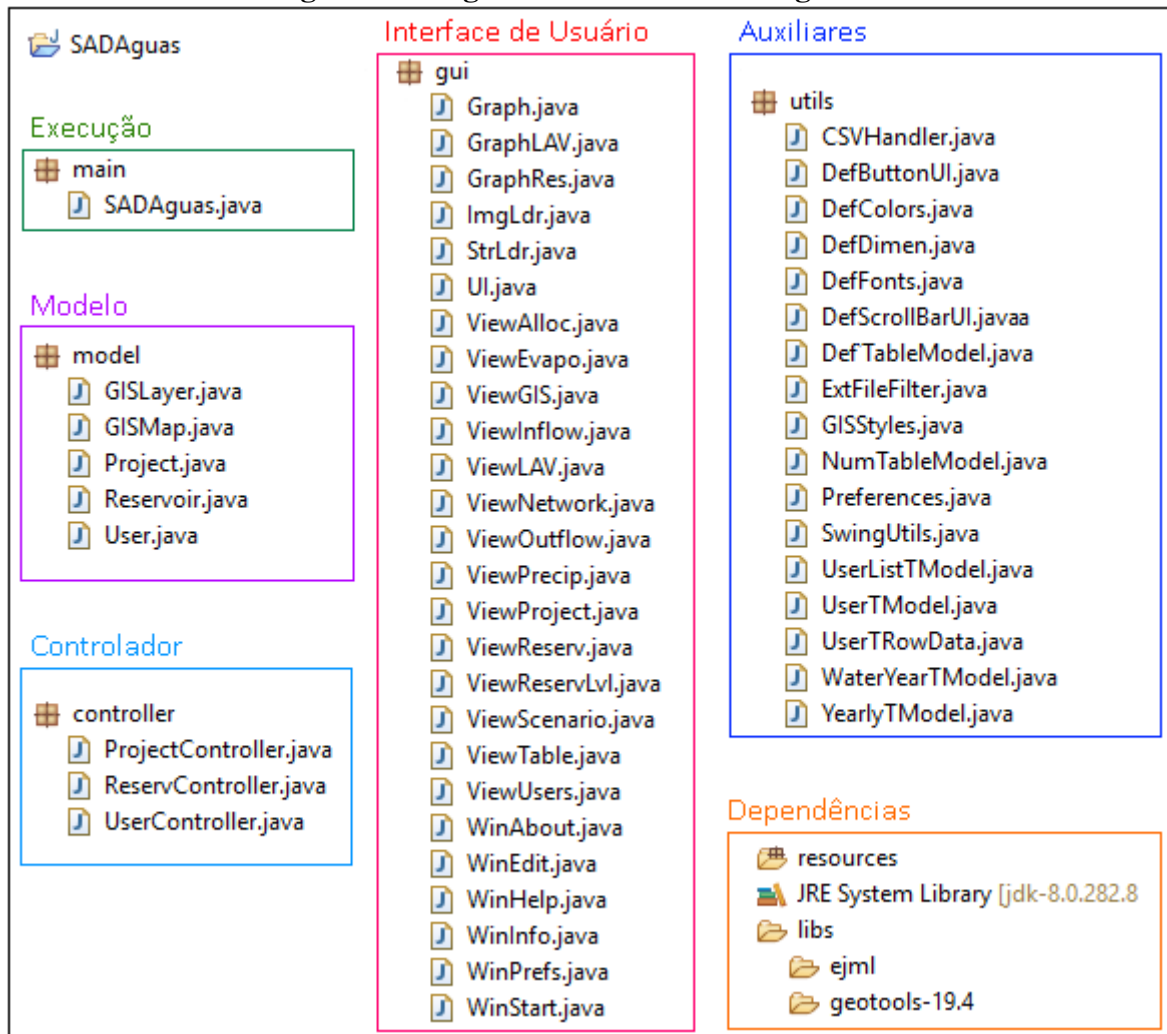


Fonte: Autor, 2021.

Em sua versão 0.8 o código constituiu um total de 05 pacotes, 53 classes e cerca de 8.300 linhas.

Para a versão 1.0 o código da versão 0.8 foi previamente revisado e refatorado e em seguida foram acrescentadas as novas funcionalidades e modificações da interface gráfica de usuário, compreendendo um total de 05 pacotes 52 classes e cerca de 10.234 linhas. O diagrama de classes está apresentado a seguir.

**Figura 2 - Diagrama de Classes SADAguas 1.0**



Fonte: Autor, 2021.

Um resumo das funções das principais classes está apresentado a seguir:

- ❖ **Execução (*main*)** – Classe de execução da aplicação.
- ❖ **Modelo (*model*)** – Classes que armazenam e realizam o processamento do modelo em si.
  - *Project* - Informações gerais do projeto como também de Cenário, variáveis para as regras de alocação e etc.

- *Reservoir* – Informações gerais do reservatório, precipitação, evaporação, níveis do mesmo em relação ao tempo e etc.
  - *User* - Informações gerais do usuário, valores de alocação ao longo do tempo e etc.
  - *GISLayer, GISMap* – Armazena as informações e realiza o processamento necessário para a construção do painel do mapa.
- ❖ **Controladoras (*controller*)** – Classes que intermediam a comunicação entre o modelo e a Interface de Usuário.
- *ProjectController, ReservoirController e UserController* – Liga a interface aos respectivos modelos.
- ❖ **Exibição e Recebimento de Dados (*gui*)** – Classes responsáveis pela interação com o usuário.
- *UI* – Classe principal da Interface, armazena todas as demais classes de exibição e realiza a ligação entre as mesmas, como também realiza o processamento de diversas tarefas de IO.
  - *ImgLdr* – Carrega, armazena e disponibiliza para as demais telas os ícones e imagens da aplicação.
  - *StrLdr* – Carrega, armazena e disponibiliza para as demais telas os textos em língua portuguesa, foi construída de maneira a permitir que o aplicativo suporte diversos idiomas.
  - *ViewNetwork* – Árvore de seleção à esquerda que controla a alternância de telas no painel central.
  - *ViewProject, ViewScenario, ViewReserv, ViewLAV, View Precip, ViewEvapo, ViewInflow, ViewOutflow, ViewUsers, ViewAlloc, ViewGIS, ViewReservLvl*, – *classes* responsáveis pelas respectivas telas.
  - *WinStart, WinPrefs, WinHelp, WinAbout, WinInfo* – responsáveis pelas respectivas janelas que são exibidas durante a execução, normalmente com o bloqueio da aplicação (Janela do tipo Modal).
  - *Graph, GraphLAV, GraphRes* – Transformam as respectivas tabelas em gráficos de linha.
- ❖ **Auxiliares (*utils*)** – Classes que realizam funções diversas dentro do programa.



- *CSVHandler, ExtFileFilter* – Localização e carregamento dos arquivos *\*.csv* (*Comma Separated Values*).
  - *DefTableModel, NumTableModel, UserListTableModel, UserTableModel, UserTRowData, WaterYearTableModel, YearlyTableModel* – Armazenar e realizar processamentos nas respectivas tabelas.
  - *Preferences* – Carregar e salvar o arquivo de preferências da aplicação.
  - *DefColors, DefDimen, DefFonts, GISStyles, DefScrollBarUI, DefButtonUI*, – Classes auxiliares para constantes.
  - *Swingutils*, – Classes de auxílio na construção da interface.
- ❖ **Dependências Externas** – Componentes externos ligados dinamicamente necessários à execução do código.
- *JRE 1.8* – A princípio a aplicação era feita com vistas ao JRE 1.7, porém foi migrada para, entre outros, permitir o uso da versão mais recente do *GeoTools*.
  - *GeoTools 19* – Biblioteca auxiliar atualizada da 17 na versão anterior do SAD para o processamento e exibição de informações geográficas, permitindo o carregamento de arquivos *\*.shp* (*Shapefiles*).

### 5.1.2 MODELAGEM DO PROBLEMA

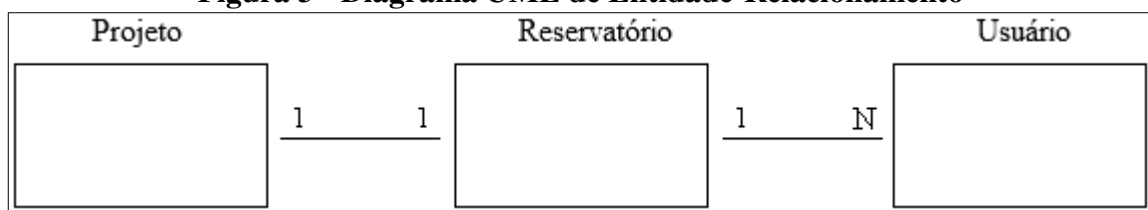
O Sistema foi concebido em torno da modelagem hidrológica de um reservatório isolado, as informações básicas são coletadas em torno do que é considerado necessário para o cálculo do balanço hídrico do reservatório ao longo do tempo, estas informações são então agrupadas em torno do conceito de um projeto. Foram então concebidos dentro do sistema três classes de objetos conceituais: O Projeto, o Reservatório e o Usuário.

- ❖ Projeto – Reúne as informações gerais da modelagem hidrológica, sendo estas:
- As informações gerais do projeto.
  - O intervalo de tempo que se pretende estudar.
  - As definições de Ano Água (ver página 28) em cinco classes diferentes.
  - A climatologia prevista ou observada para cada ano do intervalo definido.
- ❖ Reservatório – Informações gerais relacionadas ao reservatório.
- Nome e informações geográficas.
  - Volume Inicial, Máximo e Mínimo Operacional.
  - Tabela de Cota x Área x Volume (CAV) e Área da Bacia Hidráulica.

- Tabelas de Precipitação e Evaporação.
- Tabelas de Volume Afluente e de Infiltração e Perdas.
- ❖ Usuário – Informações gerais relacionadas a cada usuário.
  - Nome, tipo de uso, e informações geográficas.
  - Volume de consumo horário, diário e mensal.
  - Variação do consumo ao longo do ano.

O diagrama a seguir ilustra as relações de quantidade entre os entes do projeto.

**Figura 3 - Diagrama UML de Entidade-Relacionamento**



Fonte: Autor, 2021.

A partir desse diagrama pode-se concluir que o software possui uma limitação intrínseca que é a de modelar apenas um único reservatório por projeto, dessa maneira ainda que seja possível modelar com o software uma sequência com vários reservatórios em projetos diferentes, com estes estando a jusante um do outro, fica impossibilitada a modelagem de um sistema de reservatórios interligado a partir de certo nível de cota, a exemplo do Sistema Curema-Mãe D'água.

A partir destas três classes de objetos torna-se possível a modelagem hidrológica do reservatório, assim já se pode determinar o volume do reservatório ao longo do tempo, porém tendo em vista os objetivos do trabalho foram adicionados mais dois módulos que são: o Sistema de Informações Geográficas e a Alocação por Regras.

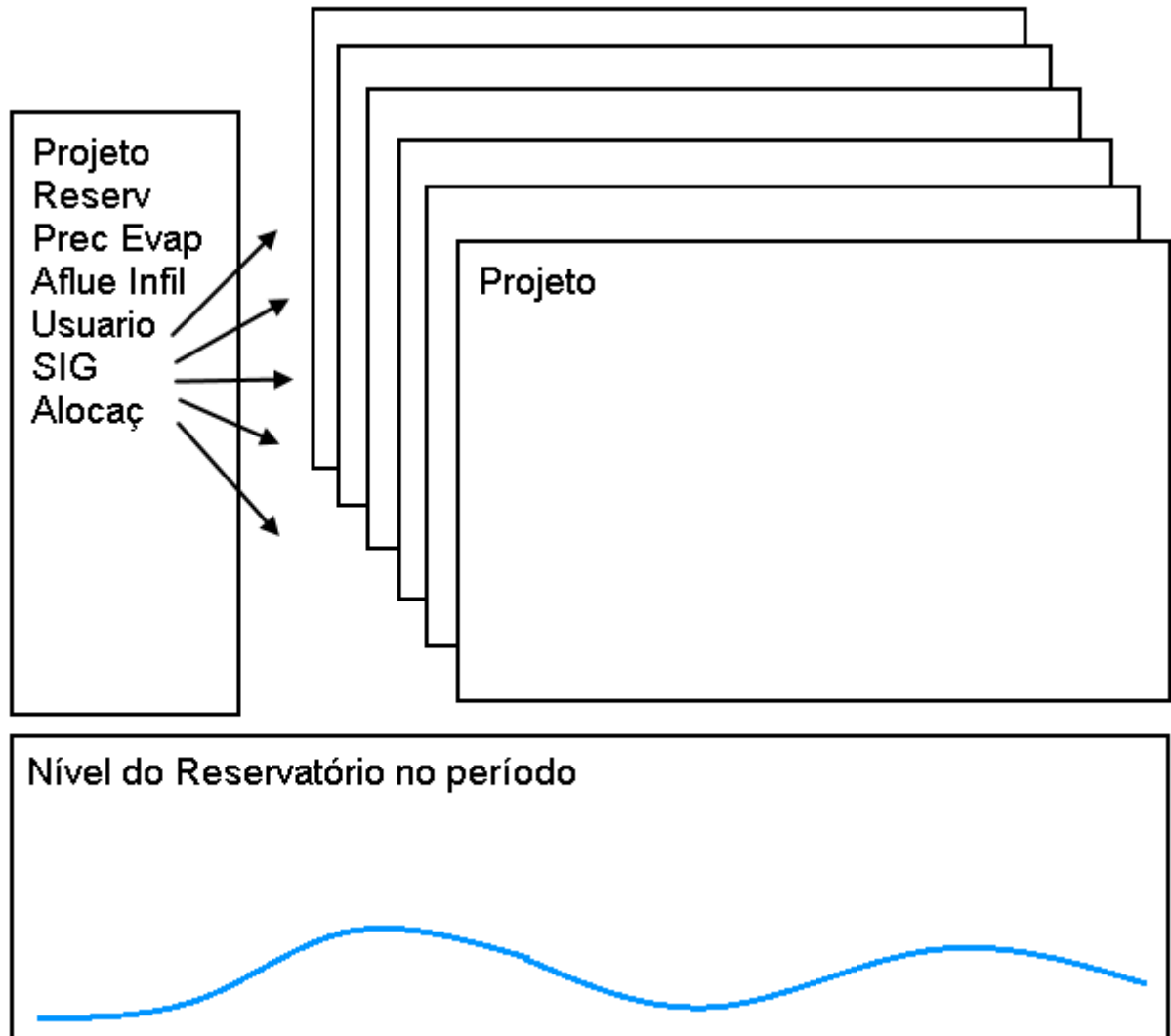
Com o estabelecimento desses requisitos, foi então concebido o esboço da interface do software, semelhante ao da Figura a seguir e com o seguinte conceito:

- Um Painel Lateral à esquerda controlando a exibição do painel central alternando a sequência de telas.
- Um Painel Central com a informação selecionada em destaque.
- Um Painel Inferior mostrando sempre o nível do reservatório ao longo do tempo, permitindo que alterações em qualquer parte do projeto possam ter suas consequências no nível do reservatório observadas instantaneamente.

A seguir imagem do esboço da interface e de cada uma das telas separadamente, pois o software foi programado tendo como base a resolução mínima de tela de 1280x720p e uma

única imagem completa tornaria os detalhes demasiado pequenos, tornando difícil sua assimilação.

**Figura 4 – Esboço da Interface Gráfica de Usuário**



Fonte: Autor, 2021.

A partir do esboço foi construída a interface gráfica, no anexo **Figura 32 – Interface gráfica do SADÁguas 1.0.** é possível ver a imagem completa do software.

Nas telas seguintes serão apresentadas as informações coletadas e em que tipo de variáveis são armazenadas e como são utilizadas nos cálculos do modelo.

### **Projeto**

A tela de Projeto recebe informações gerais do projeto, estas informações servem apenas para controle e informação e serão acrescentadas no cabeçalho do relatório, entretanto nenhuma dessas informações são utilizadas nos cálculos de volume.

- Nome, Autor, Versão, Data, Informação – Tipo texto.

**Figura 5 –Tela de Projeto (Esquerda)**

**Projeto**

**Nome**

**Autor**

**Versão**

**Data**

**Informação**

Fonte: Autor, 2021.

## Cenário

Nesta tela é especificado um cenário de trabalho tendo em vista um intervalo de tempo e também os dados referentes ao cenário climatológico do projeto, sendo estes: período de estudo, definição do Ano Água e Climatologia prevista ou observada. Estas informações devem ser digitadas ou selecionadas diretamente no programa.

**Figura 6 – Tela de Projeto (Direita)**

Cenário		Ano: Base 2021 <input type="button" value="▲"/> Final 2025 <input type="button" value="▼"/>											
Definição do Ano Água													
Tipo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Muito Seco	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Seco	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
Normal	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Úmido	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	
Muito Úmido	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	

Climatologia Prevista		
Ano		Tipo
2021		Normal
2022		Normal
2023		Normal
2024		Normal
2025		Normal

Fonte: Autor, 2021.

- ❖ Cenário – Informações gerais relacionadas ao cenário.
  - Ano Base e Final, define o período de estudo, o sistema permite intervalos entre 01 e 10 anos, deve ser escolhido clicando nos botões de seta.
    - Ano Base, Ano Final – Tipo inteiro.
  - Ano Água – Cada valor do ano água é um coeficiente o qual a precipitação, afluência e infiltração são multiplicados, naquele mês.
    - Vetor (cada ano) (1 x 12) – Tipo decimal.
    - Matriz (5 x 12) – Tipo decimal.
  - Climatologia – A climatologia escolhida para cada ano é relacionada a cada uma das classes de Ano Água previamente selecionadas.
    - Matriz ( ( Ano Final – Ano Base + 1) x 2) do tipo inteiro.

### Reservatório

Na sequência as informações específicas do reservatório em estudo são definidas, sendo estas: a Tela de Reservatório contendo as informações a respeito do reservatório como também sua curva Cota x Área x Volume, Telas de Precipitação e Evaporação contendo as respectivas médias históricas e por fim as Telas de Vazão de Afluência e Tela de Infiltração e Perdas, informações específicas do reservatório mas que são calculadas previamente por algum método já definido e externo a este software.

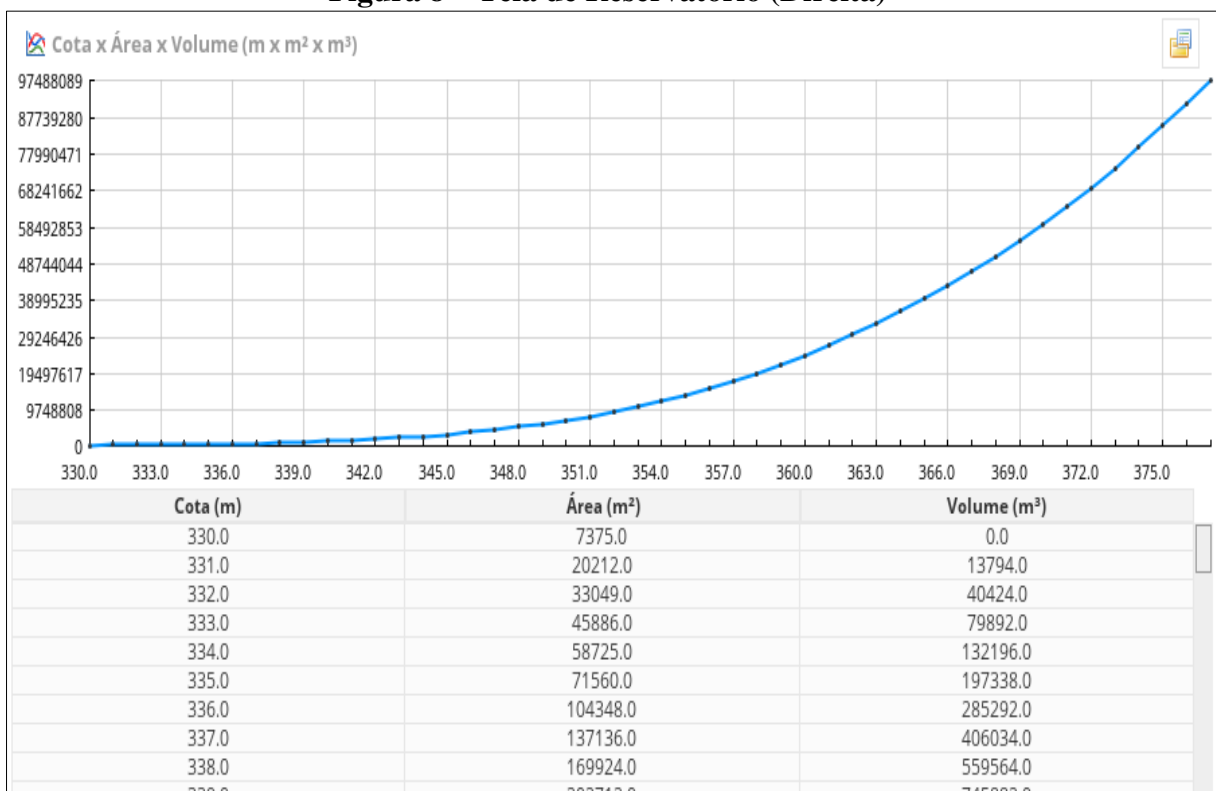
**Figura 7 – Tela de Reservatório (Esquerda)**

Reservatório	
<b>Nome</b>	Novo Reservatório
<b>Latitude</b>	0.0
<b>Longitude</b>	0.0
<b>Vol. Inicial (%)</b>	0.0
<b>Vol. Mínimo Operacional (%)</b>	0.0
<b>Vol. Máximo (m³)</b>	0.0
<b>Área B. Hidr. (m²)</b>	0.0

Fonte: Autor, 2021.

- ❖ Reservatório – Informações gerais relacionadas ao reservatório.
  - Latitude e Longitude, define a posição do reservatório no sistema de informações geográficas, estas informações são posteriormente utilizadas na geração do gráfico da Tela de SIG, um detalhe importante é que o Sistema de Coordenadas do software SADAguas é fixado, sendo este o WGS84, assim caso sejam utilizados dados de outro sistema estes devem ser previamente convertidos com uma das outras ferramentas disponíveis como o QGIS
    - Latitude, Longitude – Tipo decimal.
  - Volume Inicial e Volume Mínimo Operacional – Definem, respectivamente, o volume do reservatório no começo do estudo e o volume em que, abaixo deste, não há retirada de água do reservatório para usuários, apenas evaporação e infiltração e perdas.
    - Volume Inicial e Volume Mínimo Operacional – Tipo decimal.
  - Volume Máximo Operacional e Área da Bacia Hidráulica – Não são informados diretamente pelo usuário sendo preenchidos automaticamente a partir do carregamento da matriz de Cota x Área x Volume que será mostrada a seguir. A área da bacia hidráulica é utilizada para o cálculo de precipitação direta.
    - Volume Máximo Operacional e Área da Bacia Hidráulica – Tipo decimal.

**Figura 8 – Tela de Reservatório (Direita)**



Fonte: Autor, 2021.

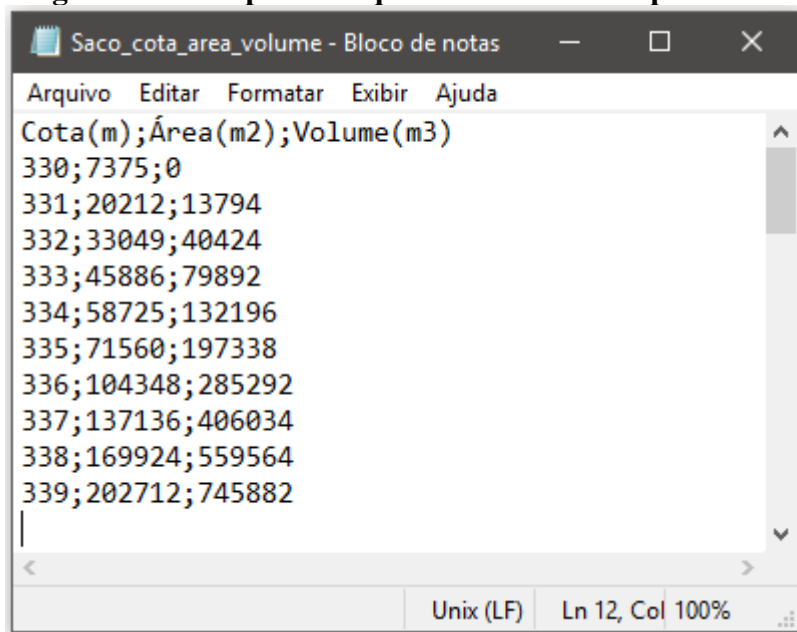
Na tela anterior é carregada a matriz de Cota x Área x Volume, a tabela é preenchida com o conteúdo de um arquivo e um gráfico de Volume x Cota é desenhado pelo software.

Esta tabela deve ser carregada de um arquivo do tipo Comma Separated Value (CSV) pois, sendo requisitos básicos do software, a fácil adoção e interoperabilidade com outros sistemas existentes, optou-se por este formato de arquivo que é padrão na indústria sendo uma opção de exportação da grande maioria dos softwares existentes de processamento de dados.

### Arquivos CSV no SADAguas

Um arquivo CSV (Valores Separados por Vírgula) é um tipo especial de arquivo que pode ser criado ou editado com um software de planilhas eletrônicas, ou em um editor de textos simples como o bloco de notas, no caso do SADAguas a primeira linha contém o cabeçalho do arquivo e será ignorada, sua leitura é feita a partir da segunda linha, cada valor deve ser separado por ponto e vírgula ; e o separador de decimais é o ponto . diferente da vírgula utilizada no Brasil pois este é o padrão mais usado por softwares técnicos de engenharia como DAC e SIG. É importante deixar uma linha em branco no final do arquivo para evitar erro de leitura.

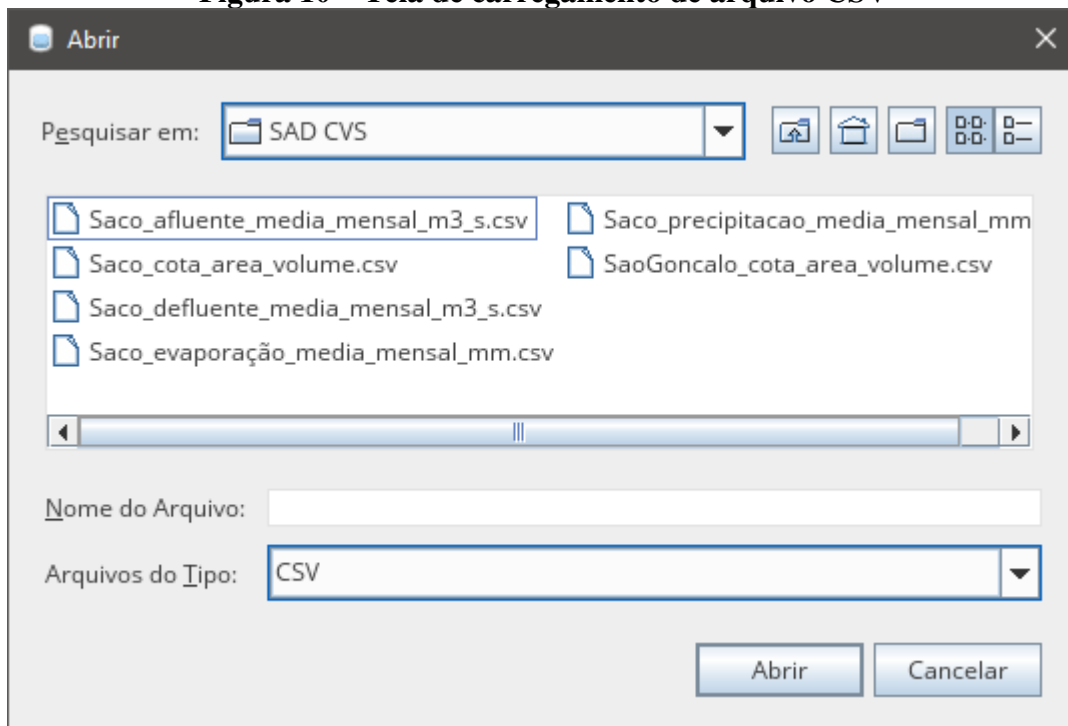
**Figura 9 - Exemplo de arquivo CSV utilizado para CAV**



Fonte: Autor, 2021.

O carregamento do arquivo CSV é feito com o acionamento do botão no canto esquerdo superior, então será aberta uma janela de diálogo para definição do local (diretório) do arquivo que será carregado no software, o software realiza a filtragem por extensão, mostrando apenas arquivos do tipo .csv.

**Figura 10 – Tela de carregamento de arquivo CSV**

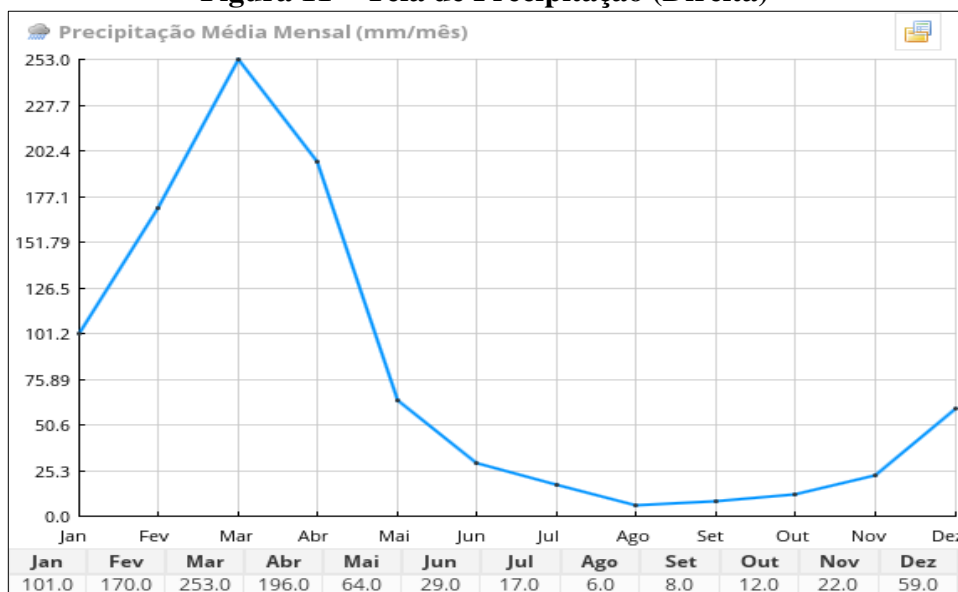


Fonte: Autor, 2021.

Este tipo de procedimento ocorre em diversas telas a seguir que incluem o carregamento de arquivos externos no software.

Telas de Precipitação e Evaporação a seguir, recebem os respectivos dados em um vetor de 12 posições, com valores referentes a cada mês do ano, diferente da tabela anterior essas tabelas podem ser carregadas de arquivos CSV, como também, inseridas diretamente no software, nestas telas também são gerados os respectivos gráficos.

**Figura 11 – Tela de Precipitação (Direita)**



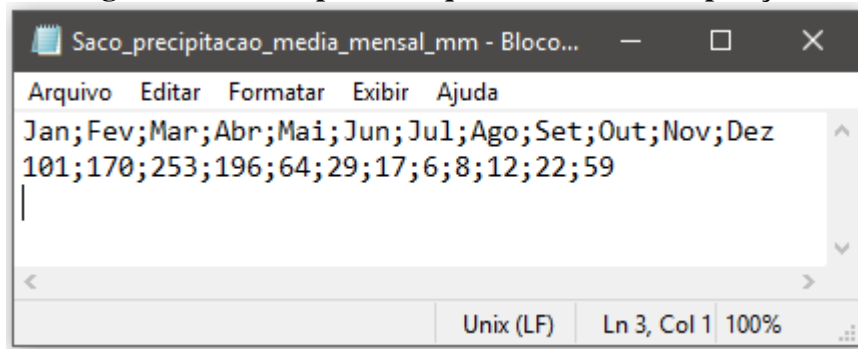
Fonte: Autor, 2021.



As informações de precipitação são utilizadas para o cálculo da precipitação direta sobre o reservatório e utilizam a informação da bacia hidráulica obtida da tabela Cota x Área x Volume, este valor leva em consideração o Ano Água corrente e é multiplicado por este coeficiente.

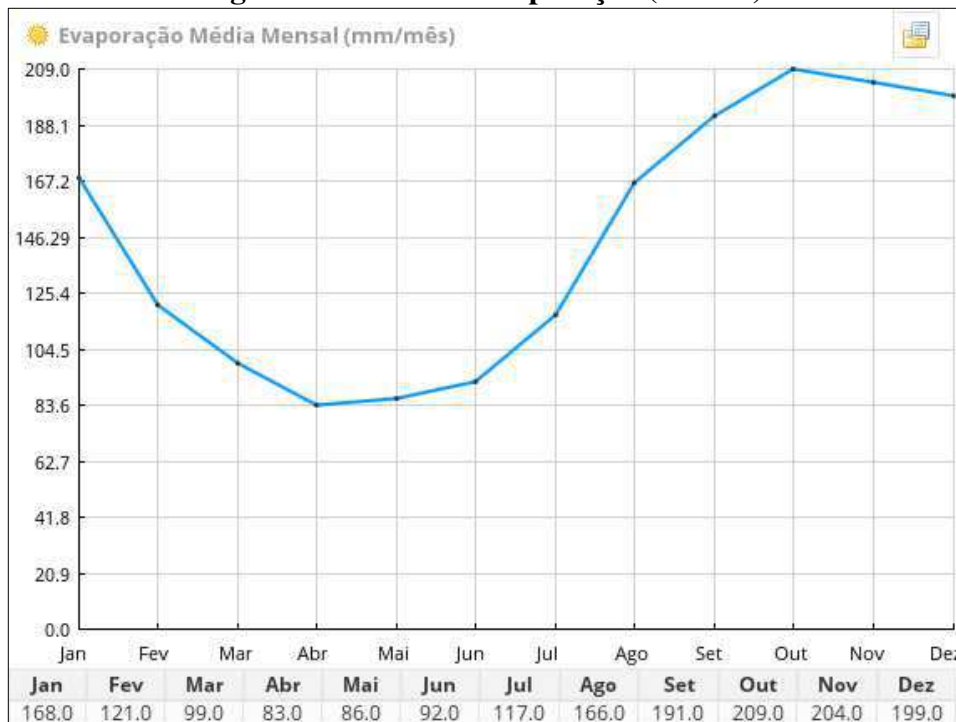
- Precipitação média mensal – Utilizado para o cálculo de precipitação direta, especificada em mm/mês.
  - Precipitação – Vetor decimal de 12 posições.

**Figura 12 – Exemplo de arquivo CSV de Precipitação**



Fonte: Autor, 2021.

**Figura 13 – Tela de Evaporação (Direita)**



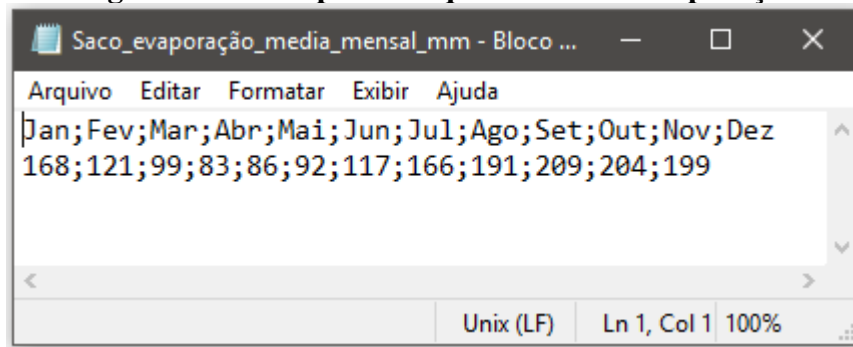
Fonte: Autor, 2021.

O vetor de Evaporação atua semelhante ao de precipitação porem de forma inversa e utiliza a informação da área atual do reservatório em cada mês específico este valor sendo obtido da tabela Cota x Área x Volume. Este vetor pode ser carregado de arquivo CSV, ou

inserido diretamente no software, este valor não leva em consideração o Ano Água, sendo fixo ao longo do período de estudo.

- Evaporação média mensal – Utilizado para o cálculo de evaporação direta, especificada em mm/mês.
  - Evaporação – Vetor decimal de 12 posições.

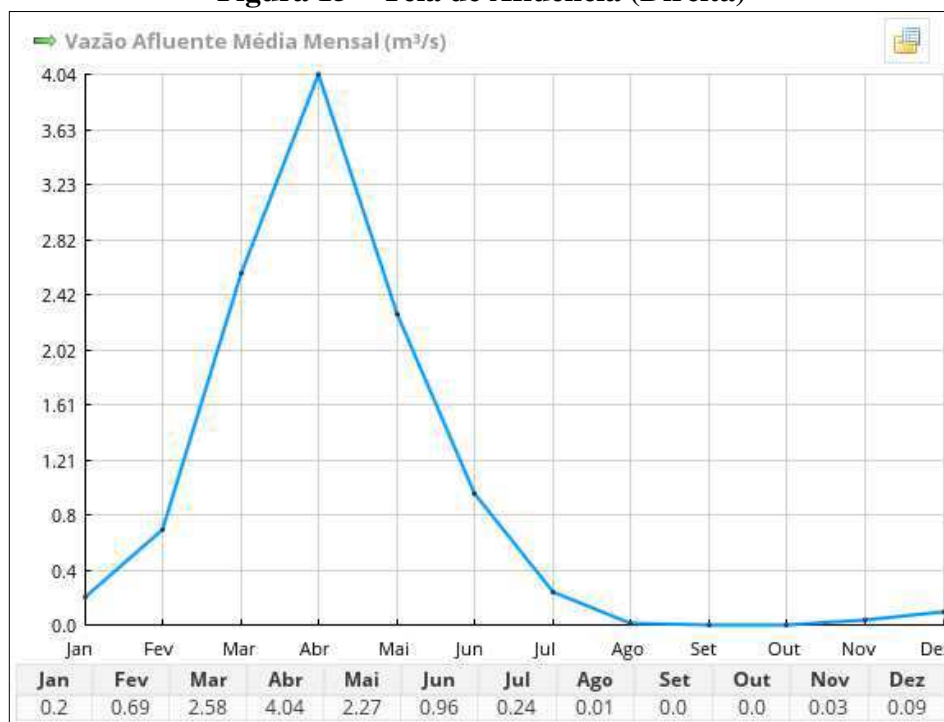
**Figura 14 - Exemplo de arquivo CSV de Evaporação**



Fonte: Autor, 2021.

A tela de afluência é um vetor que corresponde a outra forma de entrada de água no reservatório além da precipitação direta, esse valor deve representar a soma de todas as outras entradas de água que escoem para dentro do reservatório, no espaço de um mês específico, este valor leva em consideração o Ano Água corrente e é multiplicado por este coeficiente.

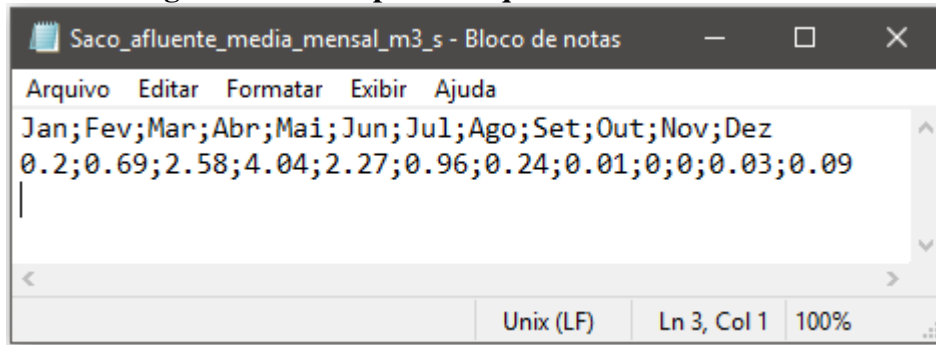
**Figura 15 – Tela de Afluência (Direita)**



Fonte: Autor, 2021.

- Vazão afluente média mensal – Após ser aplicado o coeficiente Ano Água, é diretamente acrescentado ao volume do reservatório mensal. Especificado em m<sup>3</sup>/s.
  - Vazão Afluente – Vetor decimal de 12 posições.

**Figura 16 - Exemplo de arquivo CSV de Afluência**



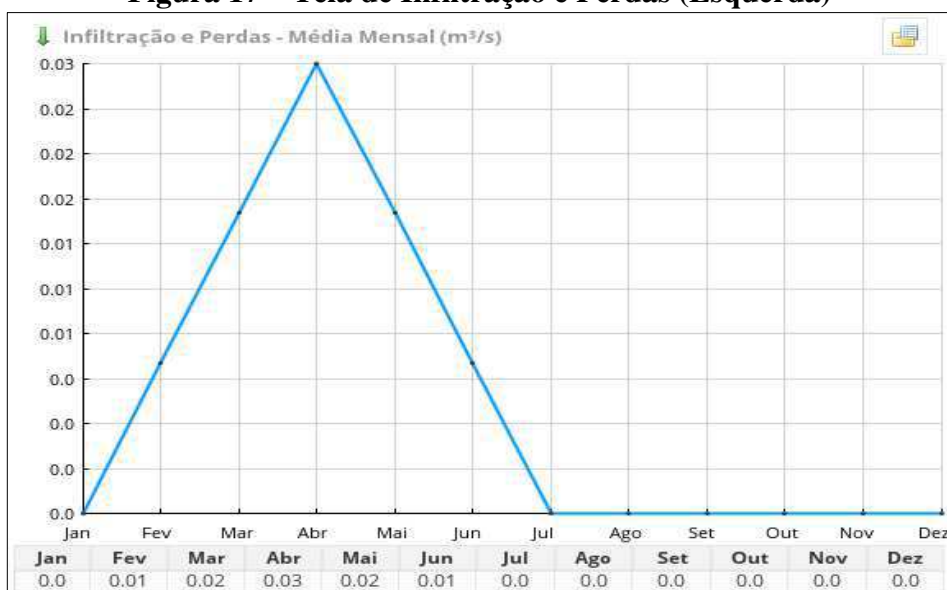
Fonte: Autor, 2021.

A tela de infiltração e perdas é um vetor que corresponde as saídas de água do reservatório sendo estas por infiltração, furto ou qualquer outra forma de saída no reservatório além da evaporação direta e o consumo conhecido e definido para os usuários inseridos no modelo do software.

Esse valor pode ser usado na prática para a realização da calibração do modelo, caso já se disponha de dados de volume previamente conhecidos para um período juntamente com sua climatologia, esse vetor pode ser inserido de forma a aproximar a curva observada real da curva calculada pelo software.

É importante destacar que este valor também leva em consideração o Ano Água corrente e é multiplicado por este coeficiente.

**Figura 17 – Tela de Infiltração e Perdas (Esquerda)**



Fonte: Autor, 2021.

- Infiltração e Perdas média mensal – Após ser aplicado o coeficiente Ano Água, é diretamente subtraído do volume do reservatório mensal. Especificado em m<sup>3</sup>/s.
  - Vazão de Infiltração e Perdas – Vetor decimal de 12 posições.

### Usuários

A tela de usuário é responsável por coletar todas as informações de usuário necessárias para o cálculo de consumo, e seus campos foram elaborados tendo por base as informações da tabela para consulta de outorgas vigentes disponível pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e adaptada para as funcionalidades do software. Abaixo segue uma imagem de exemplo, obtida da página da web da AESA para consulta de outorgas emitidas.

**Figura 18 – Dados de outorga**

Requerente	Finalidade	Fonte Hídrica	Município do Empreendimento	Bacia Hidrográfica	Vazão Horária
COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA - CAGEPA	ABASTECIMENTO_PUBLICO	ACUDE	JOÃO PESSOA	Baixo Curso do Rio Paraíba	601.2
Volume Anual	Latitude Decimal	Longitude Decimal	Data Expedição	Data de Expiração	Situação do Vencimento
5266512	-7.153333333333333	-34.9125	10/04/2019	10/04/2029	Vigente

Fonte: AESA, 2021.

Abaixo está a tela de usuário, a partir dessas informações é feito o cálculo de consumo do usuário, avaliação de volume do reservatório no tempo, geração do mapa da tela de SIG, como também serão utilizadas nos cálculos de alocação.

Essa tabela deve ser preenchida manualmente, não sendo possível seu carregamento a partir de arquivo CSV, os seus respectivos campos serão descritos a seguir.

**Figura 19 – Tela de Usuários (dividida em 02 partes)**

ID	Nome	Tipo de uso	m <sup>3</sup> /h	h/dia	m <sup>3</sup> /mês	Ativo
2	Abastecimento CAGEP	Hum/Ani	205.0	24.0	147600.0	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Pecuaristas	Hum/Ani	54.0	24.0	38880.0	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Irrigantes	Irrigação	1912.0	24.0	1376640.0	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Aquicultores	Indústria	83.0	24.0	59760.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Latitude	Longitu...
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0

Fonte: Autor, 2021.

O usuário é definido por um tipo especial de objeto contendo diferentes tipos de valores e dados, descritos a seguir:

- ID – Gerado automaticamente pelo software, para identificação única dentro do sistema, permite que um mesmo usuário com o mesmo nome e tipos de uso diferentes possa ser identificado unicamente pelo software, esse tipo de situação foi identificado em casos reais de uso.
  - ID – tipo inteiro.
- Nome – Identificar do nome, podendo ser um indivíduo ou entidade jurídica.
  - Nome – tipo texto.
- Tipo de uso – Abre uma caixa de seleção, em que é permitido escolher um dos quatro tipos permitidos no software que mais tarde serão utilizados para realizar a alocação por regras, sendo estes:
  - Abastecimento Humano/Animal.
  - Irrigação.
  - Indústria.
  - Perenização.
- Vazão horária máxima – Determina o volume máximo retirado por hora especificado em m<sup>3</sup>/h.
  - Volume Horário – Tipo decimal.
- Tempo diário – Determina o tempo diário de retirada do reservatório, especificado em h/dia.
  - Tempo diário – Tipo decimal.
- Volume mensal – Calculado e preenchido automaticamente pelo software, é exibido para comparação conveniente entre usuários pelo operador.
  - Volume mensal – Tipo decimal.
- Usuário Ativo – Permite ativar ou desativar um usuário de maneira conveniente, mantendo o cadastro, o usuário desativado não influi de maneira nenhuma nos cálculos do modelo.
  - Ativo – Tipo booleano.
- Vetor de consumo mensal – Permite mudar o consumo mensal do usuário para cada mês ao longo dos doze meses do ano, o valor de volume mensal é multiplicado pelo decimal especificado, sendo entre 0.0 e .1.0.
  - Ativo – Tipo booleano.

- Latitude e Longitude, define a posição do usuário no sistema de informações geográficas, estas informações são posteriormente utilizadas na geração do gráfico da Tela de SIG, deve ser informado no padrão o WGS84.
  - Latitude, Longitude – Tipo decimal.

### Sistema de Informações Geográficas (SIG)

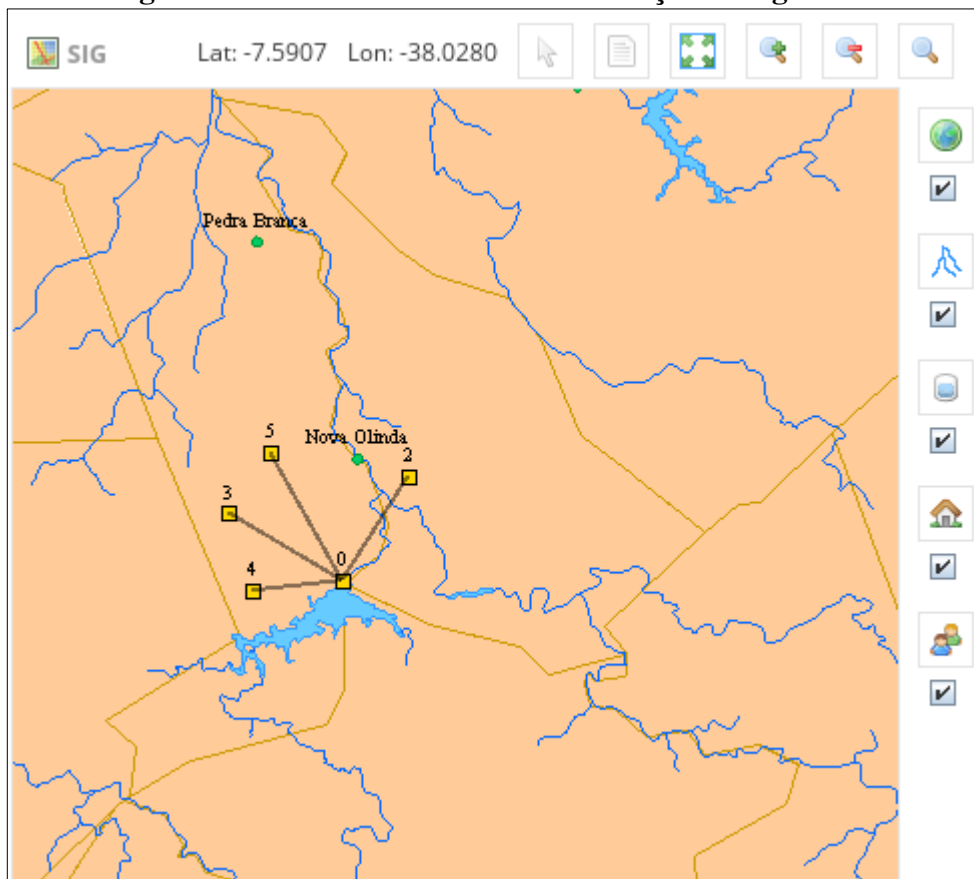
A Tela de SIG acrescenta um componente espacial ao modelo permitindo uma visualização fiel e melhorando o entendimento do projeto como um todo.

O fornecimento dos dados a esse módulo é feito através das informações de latitude e longitude informadas nas telas de reservatório e de usuários. Caso essa informação tenha sido inserida o aplicativo elabora um mapa com as posições dos usuários e do reservatório, e adiciona ou remove uma linha para indicar quais destes estão ativos ou inativos.

O sistema permite a adição de até 05 camadas as quais são: Territórios (limites municipais), Drenagem, Açudagem, Sedes Municipais e a de Pontos de Interesse (Usuários e Reservatório).

As camadas devem ser carregadas no formato padrão da indústria *Shapefile (.SHP)*, no momento o aplicativo suporta arquivos com *SRC WGS84*.

**Figura 20 – Tela de Sistema de Informações Geográficas**

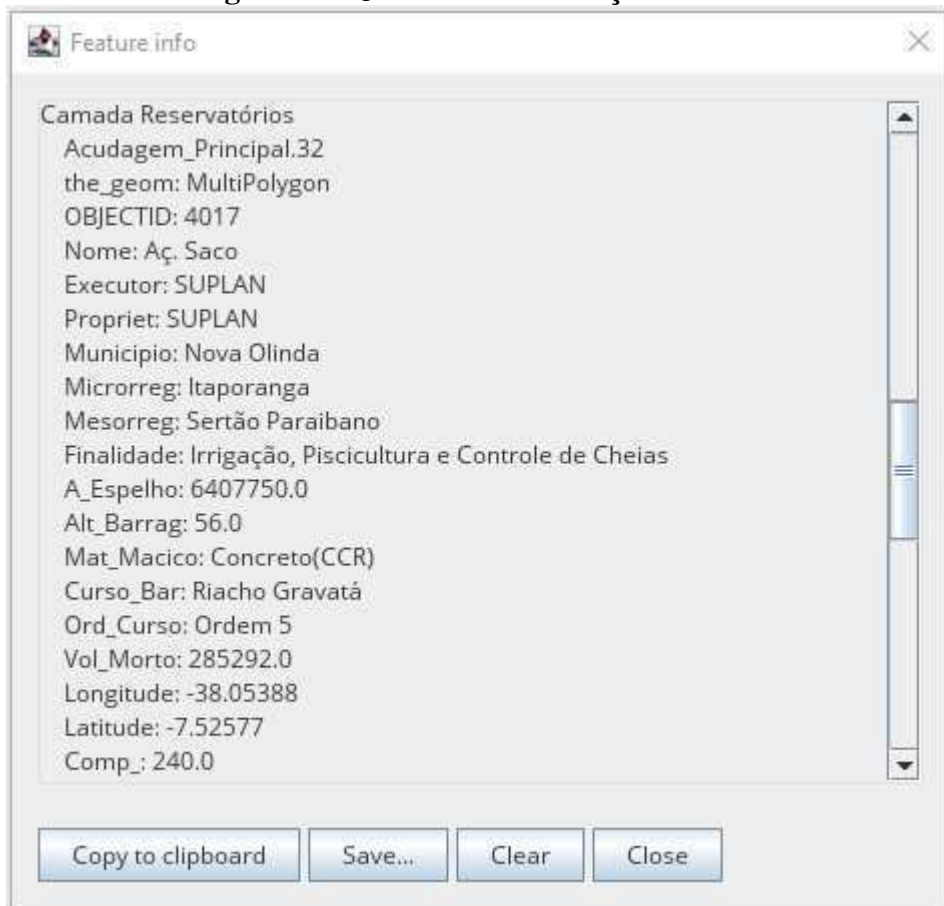


Fonte: Autor, 2021.

Na barra superior são exibidos os seguintes itens:

- Coordenadas de latitude e longitude.
- Botões de controle, sendo estes:
  - Cursor Padrão – Define o cursor padrão da aplicação, não possui função específica dentro do software.
  - Cursor de Informação – Quando clicado em algum ponto do mapa, caso o arquivo carregado contenha informações adicionais neste ponto específico, como um açude, riacho ou município, as respectivas informações deste são exibidas em uma janela flutuante, como na imagem a seguir (arquivo SHP obtido da AESA).

**Figura 21 – Janela de informações do SIG**



Fonte: Autor, 2021.

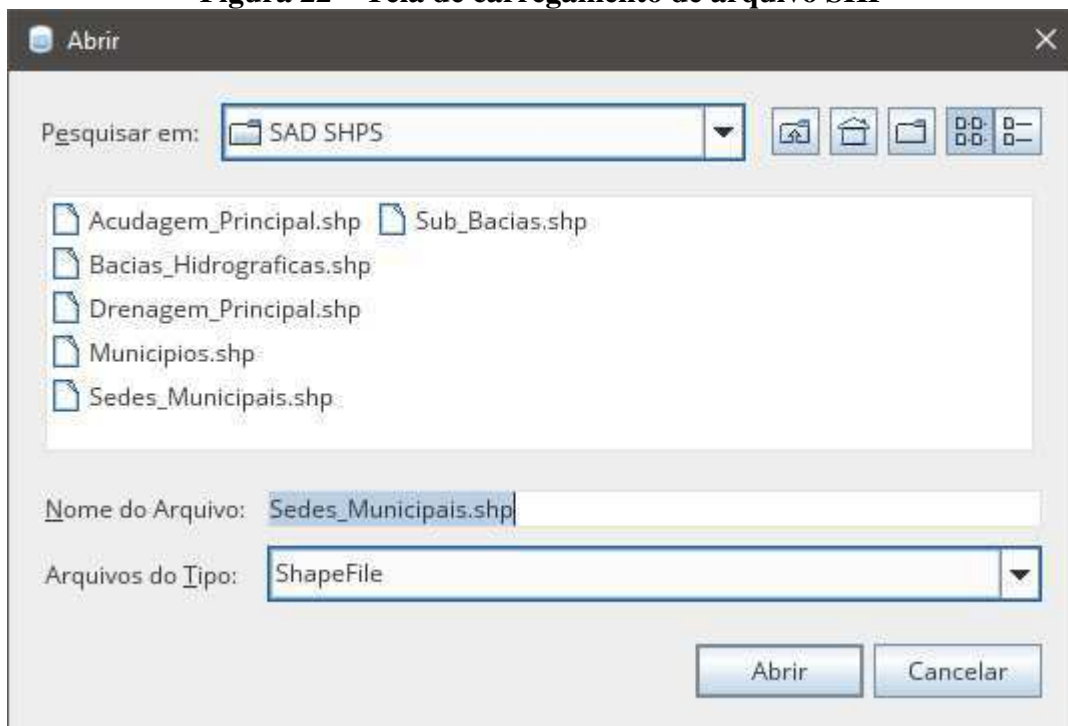
- Cursor Mão – Desloca o mapa quando mantido pressionado o botão direito do mouse.
- Cursor Aproximar Zoom – Aproxima o mapa ou pode-se desenhar uma janela com este cursor
- Cursor Afastar Zoom – Afasta o mapa em 10%.

- Estender Zoom – Ajusta o zoom para que seja mostrado todo o conteúdo do mapa

Na barra lateral direita são exibidos os seguintes itens:

- Botões de carregamento das camadas, ao clicar em qualquer um dos quatro primeiros botões, é aberta uma janela de carregamento para um arquivo SHP para a respectiva camada sendo estes:
  - Camada Territórios – Municípios, estados, etc.
    - Tipo poligonal.
  - Camada Drenagem – Rios, riachos, canais e outros cursos d'água.
    - Tipo linha.
  - Camada Açudagem – Açudes, lagos e outros corpos d'água.
    - Tipo poligonal.
  - Sedes Municipais – Pode indicar cidades ou outros tipos de povoamentos.
    - Tipo ponto.

**Figura 22 – Tela de carregamento de arquivo SHP**



Fonte: Autor, 2021.

- Botão Usuários (Pontos de Interesse) – Gera a camada de reservatório e usuários com bases nas informações de latitude e longitude fornecidas previamente, os usuários ativos são representados por pontos conectados por uma linha ao ponto do

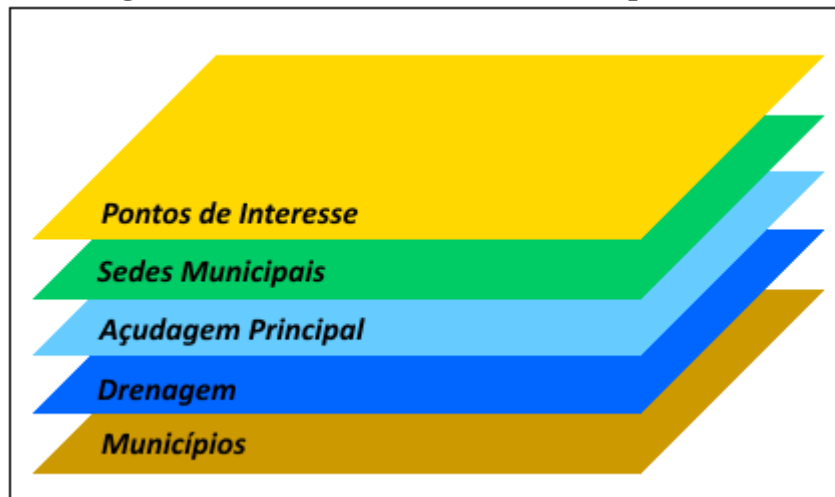


reservatório, e identificados pela legenda do campo ID, sendo o ID 0 reservado para o reservatório.

Abaixo de cada botão há uma caixa de checagem onde é possível ativar ou desativar a exibição de cada uma das camadas do mapa.

As camadas são exibidas de acordo com uma ordem predefinida tendo em vista a clareza, a ordem pode ser visualizada na imagem a seguir.

**Figura 23 – Ordem das camadas do mapa do SIG**



Fonte: Leandro et al, 2017.

### **Alocação de Água por Regras**

A alocação é uma das funcionalidades do software que permite definir uma fração da alocação máxima requerida por um determinado usuário quando o reservatório atinge um certo nível especificado, e é utilizada em situações que se deseja suprir parte da demanda e manter o volume do reservatório acima de uma meta especificada.

No SADAgua 1.0 uma das principais mudanças foi o melhoramento desta funcionalidade que passou a permitir a definição de três regras distintas com quatro sub regras em cada uma destas, (diferente da versão anterior que permitia apenas uma) permitindo um controle mais detalhado e sendo semelhante ao controle realizado na bacia do Piancó-Piranhas-Açú.

A alocação é feita através da especificação de regras, que são definidas por um valor limite e dentro desse limite é especificado o valor alocado para cada tipo de uso.

O software permite a especificação de três limites tendo por base o método que foi utilizado na gestão dos reservatórios pelo CBH-PPA estabelecendo três estados hidrológicos correspondentes. Quando o volume do reservatório atinge tal limite o usuário é concedido apenas aquele valor percentual da alocação requerida de acordo com o tipo de uso do usuário.

Essa informação é definida em uma tabela criada especificamente para o usuário contendo o percentual correspondente naquele mês. A seguir a tela de alocação atualizada.

**Figura 24 – Tela de Alocação (dividida em 02 partes)**

ID		Nome	Tipo de uso	m <sup>3</sup> /mês
2	Abastecimento Human		Hum/Ani	147600.0
3	Pecuaristas		Hum/Ani	38880.0
4	Irrigantes		Irrigação	1376640.0
5	Aquicultores		Indústria	59040.0

Irrigantes													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2013	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
2014	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
2015	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
2016	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
2017	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	

Fonte: Autor, 2021.

Este método foi concebido conforme modelo de estados hidrológicos, mostrado nas imagens a seguir:

**Figura 25 – Exemplo de Estados Hidrológicos e Condições de Uso - Açude Curema**

Estado Hidrológico	Volume hm <sup>3</sup> (maio)	Cota m (maio)	Finalidade	Condição de uso	
				l/s	%
Verde	≥ 380,23 hm <sup>3</sup>	≥ 238,75 m	Todas	4860	100%
Amarelo	Entre 207,50 e 380,23 hm <sup>3</sup>	Entre 233,71 e 238,75 m	Abastecimento público no entorno <sup>(1)</sup>	516	100%
			Demais usos no entorno	9 a 35	25 a 100%
			Abastecimento público no rio Piracó	428	100%
			Abastecimento público no rio Piranhas	181 a 587	30 a 100%
			Demais usos a jusante	706 a 2822	25 a 100%
			Usos que independem de outorga	400	100%
Curva-Guia EH Amarelo	267,50 hm <sup>3</sup>	235,77 m	Abastecimento público no entorno <sup>(1)</sup>	516	100%
			Demais usos no entorno	18	50%
			Abastecimento público no rio Piracó	428	100%
			Abastecimento público no rio Piranhas	181	30%
			Demais usos a jusante	1411	50%
			Usos que independem de outorga	400	100%
Vermelho	Entre 21,99 e 207,50 hm <sup>3</sup>	Entre 219,00 e 233,71 m	Abastecimento público no entorno <sup>(2)</sup>	≤ 516	≤ 100%
			Demais usos no entorno	≤ 9	≤ 25%
			Abastecimento público no rio Piracó	≤ 428	≤ 100%
			Abastecimento público no rio Piranhas	≤ 181	≤ 30%
			Demais usos a jusante	≤ 706	≤ 25%
			Usos que independem de outorga	≤ 400	≤ 100%
			Perenização a jusante	≤ 500	≤ 100%

Fonte: ANA (NT 15), 2019.

**Figura 26 – Repres. Gráfica dos Estados Hidr. e Condições de Uso - Açude Curema**

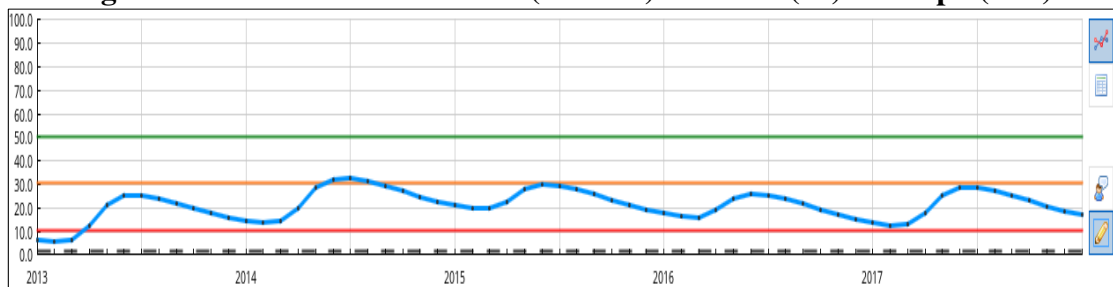


Fonte: ANA (NT 15), 2019.

**Volume x Tempo**

O software então com todos os dados definidos realiza o cálculo de balanço hídrico ao longo do tempo, e os exibe na parte inferior da tela, em maneira gráfica ou tabular. No gráfico são exibidas linhas representando os limites estabelecidos.

**Figura 27 – Tela de Reservatório (Gráfico)- Volume (%) x Tempo (mês)**



Fonte: Autor, 2021.

**Figura 28 – Tela de Reservatório (Tabela)- Volume (%) x Tempo (mês)**

Período	Volume (m³)	Volume (%)
2013.01	5352096.086100	5,4899999999999999
2013.02	4630087.697100	4,749388099196406
2013.03	5478514.891100	5,619676154591563
2013.04	11199638.914100	11,488212589847771
2013.05	19934380.218100	20,44801618595683
2013.06	23720825.618100	24,33202441592634
2013.07	24240912.893100	24,865512435165286
2013.08	22951403.468100	23,54277707515633
2013.09	20952045.818100	21,491903301233037
2013.1	18911223.118100	19,398496074838437

Fonte: Autor, 2021.

### Modelo de Balanço Hídrico

O modelo de balanço utilizado no software utiliza os dados fornecidos de cenário e climatologia, do reservatório e também dos seus usuários e a partir destes, determina o volume de água ao longo do tempo, esse cálculo é realizado utilizando vetores com valores mensais ao longo de doze meses para precipitação, evaporação, afluência e infiltração/perdas e matrizes de informações dos usuários, o volume vertido não é considerado no sistema.

A equação do balanço hídrico para um dado mês  $i$  é mostrada a seguir.

$$Vres_i = Vres_{i-1} + Vafl_i + Vpre_i - Veva_i - Vinf_i - Vusu_i$$

$Vres_i$  = volume do reservatório no mês corrente

$Vres_{i-1}$  = volume do reservatório no mês anterior

$Vafl_i$  = volume afluente no mês corrente

(é multiplicado pelo coeficiente do ano água corrente)

$Vpre_i$  = volume precipitado no mês corrente

(utiliza a área da bacia hidráulica, é multiplicado pelo coeficiente do ano água corrente)

$Veva_i$  = volume evaporado no mês corrente

(calculado a partir da área da lâmina de água no momento)

$Vinf_i$  = volume infiltrado no mês corrente

(corresponde a infiltrações e perdas, é multiplicado pelo coeficiente do ano água corrente, utilizado para calibração)

$Vusu_i$  = volume consumido pelos usuários no mês corrente

(corresponde ao valor mensal consumido, é multiplicado pelo coeficiente de uso mensal e pelo coeficiente da alocação)

## 5.2 TESTE E VALIDAÇÃO

Com o objetivo de testar e validar a metodologia utilizada, foi realizado um estudo de caso em um reservatório real com dados observados ao longo de um período de 5 anos, a seguir foram detalhados a área de estudo e os dados utilizados no modelo.

### Caracterização da Área de Estudo – Açude Saco

O reservatório em estudo foi o açude Saco no município de Nova Olinda – PB, este faz parte da Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu que possui uma área de aproximadamente 43.000km<sup>2</sup> compreendendo os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte conforme pode ser observado na **Figura 34 - Sistema de Reservatórios da Bacia dos Rios Piancó-Piranhas-Açu.**

Segundo ANA (2017b), o reservatório Saco opera atualmente isolado, sem perenização do trecho de jusante, e para o qual se sugere a manutenção deste tipo de operação, indicando que o mesmo têm capacidade de atender as suas demandas atuais, contudo, verifica-se que este açude não é capaz de atender plenamente às demandas potenciais existentes nos respectivos

trechos de jusante e, provavelmente, conseguiria liberar vazões suficientes para o pleno atendimento das mesmas apenas nos períodos de maior disponibilidade hídrica.

### **Definição do Cenário**

Os dados básicos da fase de definição do cenário foram obtidos do estudo realizado por ANA (2017b), foi definido o cenário de 2013-2017 corresponde a um período de acentuada estiagem na região, conforme explicado abaixo.

### **Definição do Vetor de Precipitações Mensais**

Conforme ANA (2017a), os postos pluviométricos dos quais se aduziram as médias mensais foram aqueles que atenderam a duas condições, a saber: Extensão da série de dados disponíveis: os postos com menos de 30 anos de dados foram descartados, conferindo assim à escolha necessária significância estatística; Proximidade do lago e representatividade: foi adotado o vetor de chuvas médias do posto mais próximo ao centroide do espelho d'água, verificando-se, na escolha, a inexistência de efeitos locais (relevo: ocorrência de serras, depressões topográficas sob efeito de “sombra” pluviométrica) dotados de suficiência capaz de comprometer a representatividade em relação aos fins pretendidos.

### **Definição do Vetor de Evaporações Mensais**

Ainda segundo ANA (2017a), para o estudo evaporimétrico, foram utilizados os dados das Normais Climatológicas de Evaporação Total do INMET, disponíveis para o período 1961-1990. Para cada mês do ano, foram gerados os mapas da evaporação total mensal, a partir de interpolação das informações disponíveis do INMET, com emprego do método da Mínima Curvatura. Por fim, os valores mensais representativos da evaporação no local de cada reservatório foram obtidos a partir do cruzamento do centroide do espelho d'água com os respectivos mapas mensais. Os dados do estudo referenciado acima foram condensados na tabela a seguir.

**Tabela 1 – Precipitação e Evaporação, Açude Saco de Nova Olinda**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
<b>Precip. (mm)</b>	101	170	253	196	64	29	17	6	8	12	22	59	937
<b>Evap. (mm)</b>	168	121	99	83	86	92	117	166	191	209	204	199	1735

Fonte: Adaptado ANA, 2017b.

Em seguida foram coletados os dados de pluviometria observados entre o período de 2013 a 2017, obtidos em AESA (2021) ao longo deste intervalo de tempo.

**Tabela 2 – Precipitação Anual, Açude Saco 2013-2017**

2013	2014	2015	2016	2017
826,7	843,1	557,3	532,5	726,2

Fonte: Adaptado AESA, 2021.

Com os dados do vetor precipitação mensal e da precipitação anual no período de tempo considerado foram estabelecidos os valores de Climatologia para as cinco classes de Ano-Água definidas no software. Realizando uma divisão do valor de precipitação do ano médio pelo valor observado para cada ano do estudo, foram definidos os coeficientes, mostrados abaixo.

**Tabela 3 - Coeficientes das Classes de Ano Água, Açude Saco de Nova Olinda**

	Prec.	Coef.	Ano Água
<b>Média</b>	937,0	1,00	Médio
<b>2013</b>	826,7	0,88	M. Úmido
<b>2014</b>	843,1	0,90	Úmido
<b>2015</b>	557,3	0,59	Seco
<b>2016</b>	532,5	0,57	M. Seco
<b>2017</b>	726,2	0,78	Normal

Fonte: Autor, 2021.

Com os valores da tabela acima, foram preenchidas as tabelas de Definição de Ano-Água e Climatologia Prevista da tela de Cenário do software.

### Definições do Reservatório

As informações da tela de Reservatório foram obtidas de Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação: Anexo B / Piancó-Piranhas-Açu (ANA 2017) que estão descritas na **Tabela 8 - Informações do Reservatório em estudo, Açude Saco de Nova Olinda.**

**Tabela 4 – Dados do Reservatório**

<b>Nome</b>	Açude Saco
<b>Latitude</b>	-7,5134
<b>Longitude</b>	-38,0468
<b>Vol. Inicial (%)</b>	5,49
<b>Vol. Mín. Operacional. (%)</b>	0,29
<b>Volume Máximo (m<sup>3</sup>)</b>	97.488.089
<b>Área Bacia Hidráulica (m<sup>2</sup>)</b>	6.407.750

Fonte: Autor, 2021.

O valor para o Volume Inicial foi obtido de AESA (2021) e corresponde ao volume de janeiro de 2013, início do período de estudo. O Volume Máximo Operacional e a Área da Bacia

Hidráulica foram obtidos da Tabela de Cota x Área x Volume, de acordo com o PDRH (1997) e encontra-se na **Tabela 9 - Dados de Cota Área e Volume do Açude Saco de Nova Olinda.**

### **Definições de Precipitação e Evaporação**

Os vetores seguintes das telas de Precipitação e Evaporação foram preenchidos a partir da Tabela 1.

### **Definições de Afluência e Infiltração e Perdas**

Os valores mensais de afluência foram obtidos a partir do PDRH-PB (1997), através do cálculo feito com o Modelo Hidrológico Auto Calibrável de Chuva x Vazão – MODHAC, e utilizaram uma série média diária de 57 anos, a representação esquemática desse modelo encontra-se na **Figura 33 - Representação Esquemática do Modelo MODHAC.**

**Tabela 5 – Dados de vazões médias mensais afluentes ao reservatório**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Afluên. (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,2	0,69	2,58	4,04	2,27	0,96	0,24	0,01	0,0	0,0	0,03	0,09

Fonte: Adaptado do PDRH, 1997.

Os valores de infiltração e perdas são utilizados para calibrar o software e reduzir a diferença entre o valor observado e o calculado. Estes valores foram obtidos após o cálculo do modelo e observada a diferença foram atribuídos de maneira a aproximar as curvas do balanço hídrico.

**Tabela 6 - Dados de vazões médias mensais de infiltração ao reservatório**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Infilt. (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,0	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor, 2021.

### **Identificação das demandas do Reservatório**

As demandas hídricas para o reservatório em estudo foram obtidas a partir do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu de 2016.

A estimativa das demandas hídricas foi realizada por meio de metodologias convencionais, e empregadas em estudos de planejamento de recursos hídricos, à exceção da aquicultura, para a qual foram adotados dados de cadastros e outorgas dos órgãos gestores, em função da ausência de métodos alternativos confiáveis de estimativa (ANA, 2016), as estimativas em m<sup>3</sup>/s e convertidas para m<sup>3</sup>/h podem ser observadas na tabela a seguir.

**Tabela 7 – Demandas (vazões de retirada) do Açude Saco**

	Ab. Hum.	Pec.	Irrig.	Ind.	Aquic.	Total
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	0,057	0,015	0,531	0	0,023	0,626
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	205,2	54	1911,6	0	82,8	2253,6

Fonte: Adaptado de ANA, 2016.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados do estudo de caso, bem como considerações a respeito do projeto como um todo.

### 6.1 Açude Saco / 2013-2017

Com o software carregado com os dados descritos em 5.2, foi feito o cálculo do balanço hídrico e então foi realizada uma comparação entre os dados calculados e os dados observados pela AESA no período, com uma granulometria mensal, todos os dados de resultados podem ser vistos no apêndice em **Relatório Final Gerado**, que corresponde ao relatório gerado pelo software, uma das principais funcionalidades deste. Os resultados foram então passados para uma planilha eletrônica e comparados com os observados pela AESA, e apresentados no gráfico a seguir.

**Figura 29 – Gráfico de Resultados do Balanço Hídrico SAD x Observados AESA**



Fonte: Autor, 2021.

Em seguida foi realizada a alocação baseada em regras, com os limites estabelecidos baseados aproximadamente na alocação do açude Curema, conforme **Figura 25 – Exemplo de Estados Hidrológicos e Condições de Uso - Açude Curema**.

A seguir os valores definidos para as regras de alocação e como o software gera uma alocação para cada mês no período de tempo e para cada usuário separadamente.

**Figura 30 – Regras de alocação e exemplo de alocação para usuário**



Alocação Regras / Manual												
<input checked="" type="checkbox"/> Limite I (%)	40.0	<input checked="" type="checkbox"/> Limite II (%)	25.0	<input checked="" type="checkbox"/> Limite III (%)	10.0							
<input type="checkbox"/> Hum/Ani (%)	100.0	<input type="checkbox"/> Hum/Ani (%)	100.0	<input type="checkbox"/> Hum/Ani (%)	100.0							
<input type="checkbox"/> Irrigação (%)	75.0	<input type="checkbox"/> Irrigação (%)	50.0	<input type="checkbox"/> Irrigação (%)	25.0							
<input type="checkbox"/> Indústria (%)	75.0	<input type="checkbox"/> Indústria (%)	50.0	<input type="checkbox"/> Indústria (%)	25.0							
<input type="checkbox"/> Peren/Jus (%)	75.0	<input type="checkbox"/> Peren/Jus (%)	50.0	<input type="checkbox"/> Peren/Jus (%)	25.0							
ID	Nome	Tipo de uso	m³/mês									
2	Abastecimento Human	Hum/Ani	147600.0									
3	Pecuaristas	Hum/Ani	38880.0									
4	Irrigantes	Irrigação	1376640.0									
5	Aquicultores	Indústria	59040.0									
Irrigantes												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5
2014	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75
2015	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2016	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2017	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75

Fonte: Autor, 2021.

**Figura 31 – Gráfico de Resultados do BH SAD x Observados AESA x SAD Alocação**



Fonte: Autor, 2021.

## 6.2 Análise dos Resultados

Os resultados gerados pelo programa foram de maneira geral satisfatórios, conforme gráfico na **Figura 29** e relatório gerado no **Apêndice**, pode-se constatar que a diferença entre

os volumes finais **Observado x Calculado** foi de apenas **0,79%** e o maior erro obtido em algum ponto do tempo ao longo de todo o período foi de **9,04%**, com a média de erro absoluto sendo **3,68%**.

O procedimento de alocação foi realizado e conferido para cada usuário, tendo sido realizado corretamente, e para os limites definidos permitiu um aumento do nível do reservatório dentro do modelo de **19,47%**.

A ferramenta de geração de relatórios do aplicativo funcionou de maneira correta, gerando um relatório de texto com todas as informações relevantes do projeto, no formato (.txt) podendo ser aberto em um editor de textos, estando configurado para ser adequado a uma folha tamanho A4 e codificada em UTF-8 como também gerou um arquivo (.PNG) com a imagem exibida pelo SIG, ambos salvos num diretório especificado pelo usuário.

A edição manual na maioria dos campos de entrada de dados do software realiza uma checagem e validação dos valores entrados pelo usuário, atribuindo 0.0 a valores inconsistentes prevenindo assim grande quantidade de erros humanos. A maioria dos botões e demais comandos do aplicativo possui uma *tooltip*, que é uma pequena moldura flutuante que explica o que aquele botão em questão realiza, de maneira a facilitar o aprendizado do aplicativo.

Importante ressaltar que os comandos de salvamento e carregamento de arquivo do projeto em execução estão implementados, assim todas as alterações feitas, referentes ao ciclo hidrológico, cadastro de usuários e alocação, podem ser guardadas e recuperadas.

As principais limitações do protótipo relatadas pelos usuários foram sanadas, dentre elas:

- O botão de atualização de nível do reservatório foi removido, dando lugar a uma atualização automática sempre que os dados inseridos forem validados. A interface ficou mais concisa e simplificada, com menos telas, mas sem reduzir o volume de informações tratadas pelo software.
- Adicionada a possibilidade de desfazer as alterações feitas em qualquer campo de preenchimento do software.
- A nova ferramenta de alocação utilizando 03 regras funcionou corretamente, sendo atribuído o valor adequado no período de tempo, sanando uma das maiores limitações do software.

## 7 CONCLUSÕES

Abaixo serão apresentadas as conclusões para este trabalho, considerando os resultados obtidos a partir de uma análise comparativa com dados reais observados em um reservatório, e utilização prática para verificação da usabilidade e eficiência da interface.

- O novo método do software para alocação utilizando regras em três estados diferentes foi implementado de maneira correta, fornecendo assim mais uma alternativa para a alocação de recursos hídricos.
- As melhorias da interface em relação ao protótipo foram significativas como por exemplo: a adição da atualização automática do nível do reservatório; melhorias na consistência das telas e melhor utilização do espaço; adição de botão que permite desfazer alterações, janelas de aviso para evitar sobrescrever arquivos existentes entre outras correções.
- De acordo com o estudo de caso, os resultados foram consistentes com as regras estabelecidas, sendo observado um aumento significativo dentro do modelo, assim a adição de mais regras permitiu um melhor controle do nível do reservatório, atingindo o objetivo da alocação segundo regras predefinidas.

Considerando o exposto, conclui-se que o aplicativo desenvolvido atingiu um nível muito satisfatório acrescentando diversas funcionalidades não previstas inicialmente, a exemplo do SIG e da forma de alocação utilizado pelo CBH-PPA.

Os resultados do estudo de caso mostraram sua adequação como uma ferramenta a mais para o gestor do reservatório, no auxílio a tomada de decisões em especial nos períodos de escassez.

A facilidade de uso permitida pelo software SADAguas permite que pessoas sem conhecimento aprofundado o utilizem como também, permite a comunicação clara e facilitada de seus resultados e de como um método de alocação foi executado, para os usuários de um reservatório.

No geral o desenvolvimento possibilitou muito aprendizado e o produto final oferece muitas possibilidades para continuação e aprimoramento, como por exemplo, a adição da possibilidade de mais de um reservatório simultaneamente no modelo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - (AESAs). **Volume de Açudes: Açude Saco**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>>. Acesso em: abril/2021.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Licenças e Outorgas Vigentes e Vencidas Dentro da Agência**. Disponível em: <<http://siegrh.aesa.pb.gov.br/>>. Acesso em: abril/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Nota Técnica Nº 15/2019/COMAR/SER - Marco Regulatório estabelecendo condições de uso de recursos hídricos no sistema hídrico Curema - Mãe D'Água**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/resolucoes-e-normativos/regras-especiais-de-uso-da-agua/nt-15-2019-mr-curema-e-m-dagua.pdf>>.

\_\_\_\_\_. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas**. 167p. Brasília: ANA, 2016.

\_\_\_\_\_. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação: Relatório Síntese**. 88p. Brasília: ANA, 2017a.

\_\_\_\_\_. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação: Anexo B**. 140p. Brasília: ANA, 2017b.

BRASIL. **Lei nº 9433 de 8 janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)>. Acesso em: abril/2021.

AZEVEDO, L. G. T.; GATES, T. K.; FONTANE, D. G.; LABADIE, J. W.; PORTO, R. L. (2000). **Integration on water quantity and quality in strategic river basin planning**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 126, N. 2, 85 – 97, 2000.

BABEL, M. S.; GUPTA, A. D.; NAYAK, D. K. (2005). **A model for optimal allocation of water competing demands**. *Water Resources Management*, Volume 19, 693 – 712, 2005.

CAI, X.; MCKINNEY, D. C.; LASDON, L. S. (2002). **A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the Syr Darya Basin**. *Water Resources Research*. Vol. 38. No. 6, 2002.

COSTA, F. F. **Metodologia multiobjetivo de alocação de água utilizando algoritmo genérico: o caso do reservatório Gramame-Mamuaba**. Pombal, 2014. 42 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – UFCG, CCTA, 2014.

GAMMA, E.; HELM, R.; JOHNSON, R; VLISSIDES, J. **Padrões de projeto: soluções reutilizáveis de software orientado a objetos**, trad. Luiz A. Meirelles Salgado – Porto Alegre: Bookman, 370p. 2000.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA (1997). **Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba PDRH-PB - Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/planos-diretores/> Acesso em: abril/2021.

HOWE, C. W.; SCHURMEIER, D. R.; SHAW Jr., W. D. **Innovative approaches to water allocation: The potential for water markets**. *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 4, 439-445, 1986.

LEANDRO, D. R. S.; MACHADO, E. C. M. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para alocação de água em reservatórios com utilização de técnicas de otimização multiobjetivo**. XIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Pombal, 2017.

LANNA, A. E. **MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-Calibrável**. IPH – UFRGS, 55p. Porto Alegre. 1997.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. de S. **A alocação de água como instrumento de gestão e recursos hídricos: experiências brasileiras**. 89p. Porto Alegre: ABRH, 2007.

MACHADO, E. C. M. N.; GALVÃO, C. O.; SOUZA FILHO, F. A. **Alocação qualitativa da alocação de água em bacias hidrográficas: metodologia multiobjetiva inserida no contexto de recursos hídricos**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 17, p. 213-228, 2012.

MACHADO, E. C. M. N. **Metodologia multiobjetivo para alocação da vazão excedente em bacias hidrográficas**. Campina Grande: UFCG. 131p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

NUNES, T. H. C. **A gestão do reservatório Epitácio Pessoa e regras de operação otimizadas**. 74p. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

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

SILVA, S. A. **Alocação da Água do Reservatório Engenheiro Ávidos Utilizando um Sistema de Suporte à Decisão.** 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Uma das possíveis abordagens.** In: Machado, C. J. S. (Org.) - Gestão de Águas Doces. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, p. 135-178, 2004.

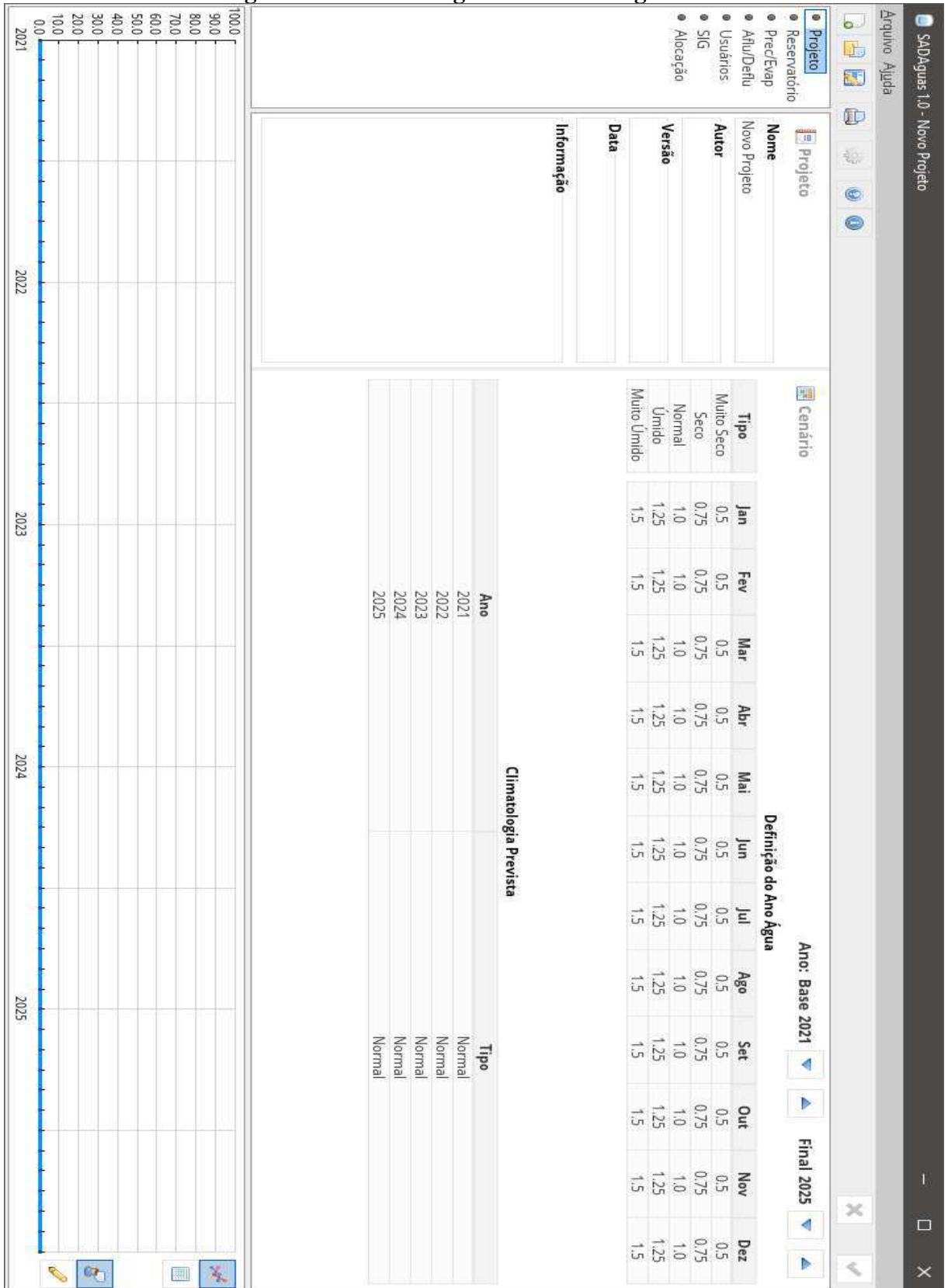
SILVEIRA, P., SILVEIRA G., LOPES S., MOREIRA G., STEPPAT N., KUNG F. **Introdução à Arquitetura e Design de Software. Uma visão sobre a plataforma Java.** 265p. Elsevier; 1ª edição, 2011.

SONG, T.; KIM, K. **Development of a water quality loading index based on water quality modeling.** *Journal of Environmental Management*, n. 90, p. 1534-1543, 2009.

ZORZAL, R. **Sistema De Suporte à Decisão para Análise de Outorga de Lançamento de Efluentes de Fontes Pontuais em Rios.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. p.202. Vitória, 2009.

## APÊNDICE

Figura 32 – Interface gráfica do SADÁguas 1.0.



Fonte: Autor, 2021.

## Relatório Final gerado pelo software: Estudo de Caso do Açude Saco – 2013/2017

Relatório - SADAgua 1.0 - 20210302\_122055

----- Projeto -----

Nome: Açude\_Saco\_2013\_2017

Autor: Danilo Roberto de Sousa Leandro

Versão: 1.0

Data: 01/03/2021

Informação: Estudo de caso do açude Saco, no município de Nova Olinda-PB, compreendendo o período entre 2013 e 2017, e utilizando dados históricos de pluviometria e afluência obtidos pela AESA e ANA.

----- Cenário -----

Ano: Base: 2013 - Final: 2017

Tipo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Muito Seco	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Seco	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Normal	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Úmido	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
Muito Úmido	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Ano	Tipo
2013	Úmido
2014	Muito Úmido
2015	Seco
2016	Muito Seco
2017	Normal

----- Reservatório -----

Nome: Novo Reservatório

Latitude: -7.5134

Longitude: -38.0468

Vol. Inicial (%): 5.49

Vol. Mínimo Operacional (%): 1.0

Vol. Máximo (m<sup>3</sup>): 9.7488089E7

Área B. Hidr. (m<sup>2</sup>): 6407750.0

Precipitação Média Mensal (mm/mês)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
101.0	170.0	253.0	196.0	64.0	29.0	17.0	6.0	8.0	12.0	22.0	59.0

Evaporação Média Mensal (mm/mês)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
168.0	121.0	99.0	83.0	86.0	92.0	117.0	166.0	191.0	209.0	204.0	199.0

Vazão Afluente Média Mensal (m<sup>3</sup>/s)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0.2	0.69	2.58	4.04	2.27	0.96	0.24	0.01	0.0	0.0	0.03	0.09

Infiltração e Perdas - Média Mensal (m<sup>3</sup>/s)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0.0	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



## ----- Usuários -----

ID	Nome	Tipo de uso	m³/h	h/dia	m³/mês	Ativo
2	Abastecimento Human	Hum/Ani	205.0	24.0	147600.0	true
3	Pecuaristas	Hum/Ani	54.0	24.0	38880.0	true
4	Irrigantes	Irrigação	1912.0	24.0	1376640.0	true
5	Aquicultores	Indústria	82.0	24.0	59040.0	true

## Consumo da Vazão Mensal (%)

ID	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

## Coordenadas Geográficas

ID	Latitude	Longitude
2	-7.4868	-38.0298
3	-7.4962	-38.0763
4	-7.5162	-38.07
5	-7.4804	-38.0656

## ----- Alocação -----

## ----- Alocação Regras / Manual -----

## Regras

Limite I:	Valor:	40.0%	true
Hum/Ani:	Valor:	100.0%	
Irrigação:	Valor:	75.0%	
Indústria:	Valor:	75.0%	
Peren/Jus:	Valor:	75.0%	

Limite II:	Valor:	25.0%	true
Hum/Ani:	Valor:	100.0%	
Irrigação:	Valor:	50.0%	
Indústria:	Valor:	50.0%	
Peren/Jus:	Valor:	50.0%	

Limite III:	Valor:	10.0%	true
Hum/Ani:	Valor:	100.0%	
Irrigação:	Valor:	25.0%	
Indústria:	Valor:	25.0%	
Peren/Jus:	Valor:	25.0%	

ID	Nome	Tipo de uso	Volume Mensal (m³)
----	------	-------------	--------------------

2	Abastecimento Human	Hum/Ani	147600.0									
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5
2014	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75
2015	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2016	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2017	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75

3	Pecuaristas	Hum/Ani	38880.0									
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5

2014	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75
2015	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2016	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2017	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75

4	Irrigantes											Irrigação	1376640.0
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2013	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	
2014	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	
2015	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
2016	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
2017	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	

5	Aquicultores											Indústria	59040.0
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2013	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	
2014	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	
2015	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
2016	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
2017	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	

----- Nível do Reservatório -----

--	Nível do Reservatório - Alocação Requerida --	
Período	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (%)
2013.01	5352096.0861	5.489999999999999
2013.02	4606776.0421	4.725475788226806
2013.03	5398165.6861000005	5.537256644860482
2013.04	1.09541560941E7	11.236404576665771
2013.05	1.9455900618100002E7	19.957207919113074
2013.06	2.3117504098100003E7	23.713157510042077
2013.07	2.3584626878100004E7	24.192316333229186
2013.08	2.2299070968100004E7	22.873636355821894
2013.09	2.0298425988100003E7	20.82144208211939
2013.1	1.8256578048100002E7	18.726983199044962
2013.11	1.6232722138100002E7	16.6509799346872
2013.12	1.4383212978100002E7	14.753815697525882
2014.01	1.2926850008100001E7	13.25992758776921
2014.02	1.20710544831E7	12.382081346470953
2014.03	1.28120017331E7	13.142120093358278
2014.04	1.84542869081E7	18.92978629225156
2014.05	2.7130584758100003E7	27.829640560602233
2014.06	3.08735786581E7	31.669077704559378
2014.07	3.13498509331E7	32.15762177172229
2014.08	3.00231940081E7	30.796781756692347
2014.09	2.79447788581E7	28.66481346054491
2014.1	2.58074534081E7	26.4724169617275
2014.11	2.36734771081E7	24.283455908239212
2014.12	2.17134395581E7	22.272915369281677
2015.01	2.01198543331E7	20.63826928959496
2015.02	1.87765601556E7	19.260363341002613
2015.03	1.8565272130599998E7	19.04363119744813
2015.04	2.1592224523099996E7	22.14857706678402
2015.05	2.6625905783099994E7	27.31195785682084
2015.06	2.8447502423099995E7	29.180490370572343
2015.07	2.8117430025599994E7	28.84191321629045
2015.08	2.6582733208099995E7	27.267672882684156

2015.09	2.4537069443099994E7	25.169299854775073
2015.1	2.2414174023099996E7	22.991705194980277
2015.11	2.0289539643099997E7	20.81232676855528
2015.12	1.82999966381E7	18.77152052708716
2016.01	1.6591621365599997E7	17.01912668079892
2016.02	1.5288099533099998E7	15.682017864869625
2016.03	1.5042491708099999E7	15.43008162576661
2016.04	1.79228977356E7	18.38470516700763
2016.05	2.27547487156E7	23.341055249939302
2016.06	2.4465155935599998E7	25.095533399572535
2016.07	2.40967240431E7	24.71760836659748
2016.08	2.25659807406E7	23.147423415592854
2016.09	2.0545382145600002E7	21.074761395312613
2016.1	1.8487642985600002E7	18.964001833700937
2016.11	1.6439950245600002E7	16.863547551537298
2016.12	1.4522634630600002E7	14.896829735374133
2017.01	1.2876757113100002E7	13.208543982332039
2017.02	1.1881091658100002E7	12.187223875216183
2017.03	1.22798136081E7	12.596219429534619
2017.04	1.69312970931E7	17.367554607722386
2017.05	2.42251975131E7	24.849392127380813
2017.06	2.7232792393099997E7	27.934481712017146
2017.07	2.7405882698099997E7	28.112031920227707
2017.08	2.6010078113099996E7	26.680262563255287
2017.09	2.3976643983099997E7	24.59443428324869
2017.1	2.1893809593099996E7	22.45793287947207
2017.11	1.9783784883099996E7	20.29354056073455
2017.12	1.7835800673099995E7	18.295363932203035
2018.01	1.6243579478099994E7	16.662117028573608

-- Nível do Reservatório - Alocação Regras / Manual --

Período	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (%)
2013.01	5352096.0861	5.489999999999999
2013.02	5823396.0421	5.973443629713575
2013.03	7809162.982100001	8.01037651081662
2013.04	1.4544778278099999E7	14.919543943568325
2013.05	2.38303258481E7	24.44434606580502
2013.06	2.82868628281E7	29.01571168155732
2013.07	2.91303156081E7	29.880897150522667
2013.08	2.82131521981E7	28.94010179858998
2013.09	2.65653422181E7	27.249833790566967
2013.1	2.48628527781E7	25.503477433125187
2013.11	2.35384186181E7	24.144917455608343
2013.12	2.23850864581E7	22.961868149964452
2014.01	2.15903544881E7	22.146658847831144
2014.02	2.13879289631E7	21.939017558442448
2014.03	2.28490852131E7	23.437822453469163
2014.04	2.9209514138100002E7	29.962136336573387
2014.05	3.82338329881E7	39.21897883145499
2014.06	4.23414093881E7	43.432392431141
2014.07	4.27690021631E7	43.87100270587928
2014.08	4.13557944881E7	42.42138184501699
2014.09	3.91895445881E7	40.19931561905988
2014.1	3.73263750131E7	38.288138988035755
2014.11	3.54652237131E7	36.37903263556638
2014.12	3.3781186163100004E7	34.651603605749216
2015.01	3.2466775938100003E7	33.30332584332431
2015.02	3.1417469760600004E7	32.22698288875065

2015.03	3.1508659985600002E7	32.32052275186151
2015.04	3.48568291281E7	35.75496195037734
2015.05	4.02433453881E7	41.280269006093654
2015.06	4.23976722781E7	43.490105009751495
2015.07	4.20043153806E7	43.086612745686296
2015.08	4.0389137188099995E7	41.4298173268121
2015.09	3.8608473673099995E7	39.60327263477284
2015.1	3.676983325309999E7	37.71725718523418
2015.11	3.488484512309999E7	35.78369981495892
2015.12	3.313300111809999E7	33.98671720613991
2016.01	3.162907634559999E7	32.44404180042958
2016.02	3.055645851309999E7	31.34378653488632
2016.03	3.059061118809999E7	31.378819199235704
2016.04	3.377364671559999E7	34.643869894300614
2016.05	3.892716619559999E7	39.93017669635517
2016.06	4.097485091559999E7	42.030622751872784
2016.07	4.093406952309999E7	41.98879057225133
2016.08	3.970981109559999E7	40.73298748896389
2016.09	3.792786025059999E7	38.90512229714544
2016.1	3.6088194590599984E7	37.01805519092695
2016.11	3.420166860059998E7	35.082920335631954
2016.12	3.2445449985599983E7	33.28145039913541
2017.01	3.096088971809998E7	31.75863845079575
2017.02	3.0133044263099983E7	30.90946245043329
2017.03	3.0766091213099983E7	31.558820701778227
2017.04	3.5683029698099986E7	36.60245068307779
2017.05	4.328301536809999E7	44.3982601485808
2017.06	4.619968674809999E7	47.390083467632635
2017.07	4.629011505309999E7	47.48284177885566
2017.08	4.478918596809999E7	45.943239248540394
2017.09	4.258024833809999E7	43.67738538612649
2017.1	4.0305387323099986E7	41.34390953452784
2017.11	3.8390779238099985E7	39.37996901149635
2017.12	3.6648109028099984E7	37.592396572775144
2018.01	3.522874708309998E7	36.13646286891518

Fonte: Autor, 2021.

## ANEXOS

Tabela 8 - Informações do Reservatório em estudo, Açude Saco de Nova Olinda.

Dados Gerais	
<b>Código ANA</b>	1191
<b>Rio</b>	Riacho Gravatá
<b>Bacia</b>	Piranhas
<b>Município / Estado</b>	Nova Olinda/PB
<b>Latitude</b>	07° 30' 50,35" S
<b>Longitude</b>	38° 02' 46,94" W
<b>Operador</b>	AESA
<b>Proprietário</b>	AESA
<b>Ano Conclusão Construção *</b>	1987
<b>Área de Drenagem Incremental (km<sup>2</sup>)</b>	357,10
Dados Operativos	
<b>Área de Drenagem Total (km<sup>2</sup>)</b>	357,10
<b>Volume Máximo (hm<sup>3</sup>) *</b>	97,49
<b>Volume Mínimo (hm<sup>3</sup>) *</b>	0,29
<b>Volume Útil (hm<sup>3</sup>)</b>	97,20
<b>NA Máximo Operacional (m) *</b>	377,00
<b>NA Mínimo Operacional (m) *</b>	336,00
<b>Dispos. de Medição de Nível/ Volume do Reserv. *</b>	Réguas linimétricas.
<b>Dispositivo de Medição de Vazão Defluente *</b>	Não há.
Dados Estruturais	
<b>Material Barragem Principal *</b>	Concreto Compactado com Rolo
<b>Extensão Barragem Principal (m) *</b>	240,00
<b>Altura Barragem Principal (m) *</b>	56,00
<b>Cota do Coroamento Barragem Principal (m)</b>	N/D
<b>Tipo do Vertedor Principal *</b>	Sanfona de concreto compactado
<b>Cota da Soleira Vertedor Principal (m) *</b>	377,00
<b>Tomada D'Água – Abastecimento Demandas *</b>	Bombas sobre flutuantes. Operante.
<b>Tomada D'Água – Liberação para Jusante *</b>	Comporta plana; tubulação de 0,5m de diâmetro controlada por válvula dispersora de 0,5m de diâmetro. Operante.
<b>* Informação obtida em levantamento de campo (mar/2015).</b>	

Fonte: Adaptado de ANA, 2017b.

**Tabela 9 - Dados de Cota Área e Volume do Açude Saco de Nova Olinda.**

<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Volume (m3)</b>
<b>330</b>	7.375	0
<b>331</b>	20.212	13.794
<b>332</b>	33.049	40.424
<b>333</b>	45.886	79.892
<b>334</b>	58.725	132.196
<b>335</b>	71.560	197.338
<b>336</b>	104.348	285.292
<b>337</b>	137.136	406.034
<b>338</b>	169.924	559.564
<b>339</b>	202.712	745.882
<b>340</b>	235.500	964.988
<b>341</b>	292.100	1.228.788
<b>342</b>	348.700	1.549.188
<b>343</b>	405.300	1.926.188
<b>344</b>	461.900	2.359.788
<b>345</b>	518.500	2.849.988
<b>346</b>	610.412	3.414.445
<b>347</b>	702.324	4.070.812
<b>348</b>	794.236	4.819.092
<b>349</b>	886.148	5.659.284
<b>350</b>	978.060	6.591.388
<b>351</b>	1.118.948	7.639.892
<b>352</b>	1.259.836	8.829.274
<b>353</b>	1.400.724	10.159.554
<b>354</b>	1.541.612	11.630.722
<b>355</b>	1.682.500	13.242.778
<b>356</b>	1.870.250	15.019.153
<b>357</b>	2.058.000	16.938.278
<b>358</b>	2.245.750	19.135.153
<b>359</b>	2.433.500	21.474.778
<b>360</b>	2.621.250	24.002.153
<b>361</b>	2.780.000	26.702.778
<b>362</b>	2.938.750	29.562.153
<b>363</b>	3.097.500	32.580.278
<b>364</b>	3.256.250	35.757.153
<b>365</b>	3.415.000	39.092.778
<b>366</b>	3.626.625	42.613.591
<b>367</b>	3.837.250	46.346.028
<b>368</b>	4.049.875	50.290.091
<b>369</b>	4.261.500	54.445.778
<b>370</b>	4.473.125	58.813.090
<b>371</b>	4.789.875	63.444.590
<b>372</b>	5.106.625	68.392.840
<b>373</b>	5.423.375	73.657.840
<b>374</b>	5.740.125	79.239.590
<b>375</b>	6.056.875	85.138.090
<b>376</b>	6.117.687	91.225.371
<b>377</b>	6.407.750	97.488.089

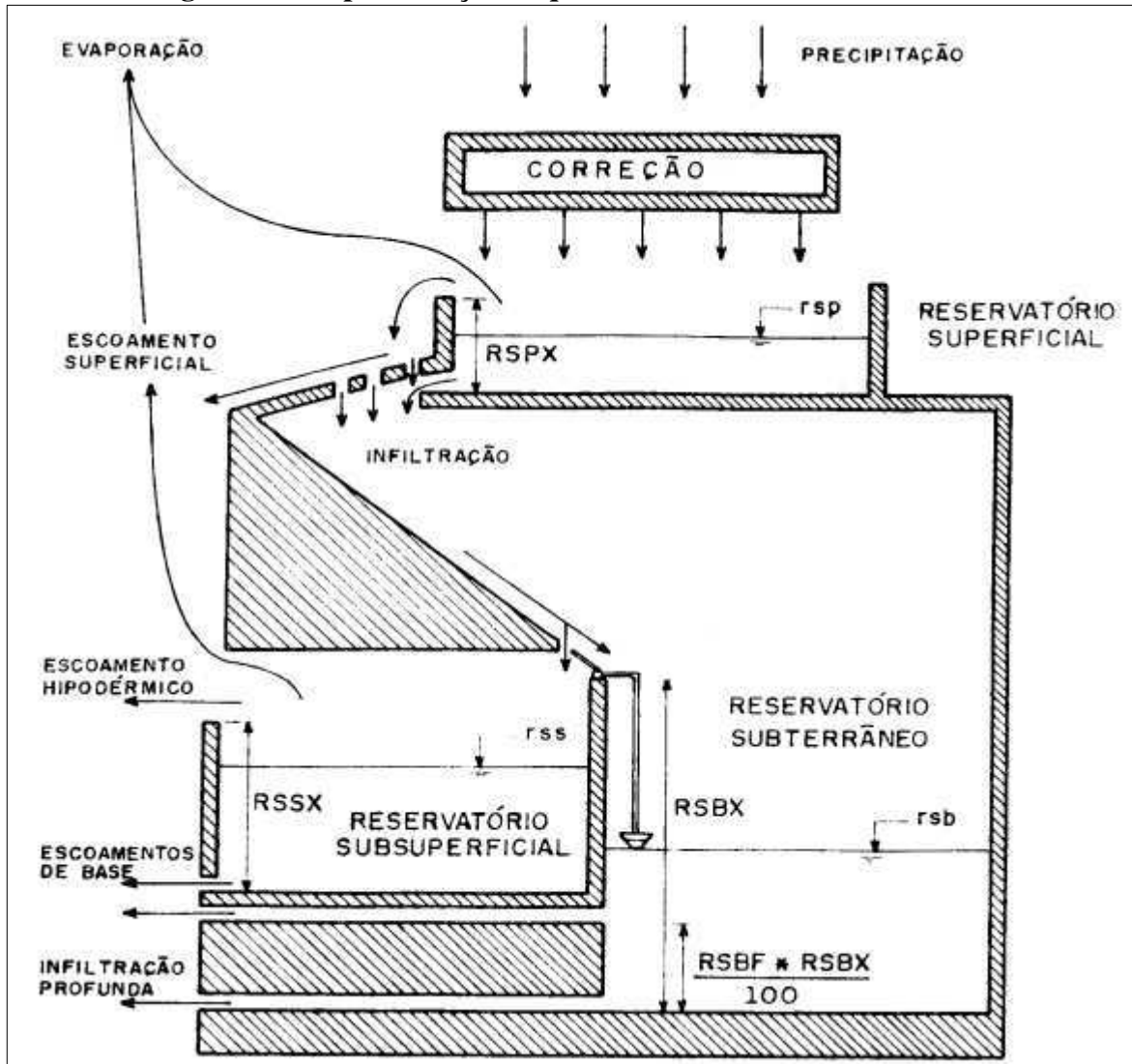
Fonte: Adaptado do PDRH, 1997.

**Tabela 10 – Vazões Médias Mensais do Açude Saco de Nova Olinda.**

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS ( m <sup>3</sup> /s)												
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1933	0,11	0,44	0,13	0,30	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,06
1934	0,11	0,16	10,97	3,89	4,16	3,21	0,93	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02
1935	0,04	1,18	16,34	3,65	2,44	1,27	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
1936	0,06	0,40	0,73	0,12	0,06	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,38	1,59	4,44	3,65	1,99	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
1938	0,02	0,01	0,70	4,63	3,37	1,51	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1939	0,00	0,37	1,54	3,10	1,66	0,26	0,00	0,01	0,03	0,03	0,05	0,01
1940	2,34	3,29	9,92	6,86	3,27	3,45	1,48	0,04	0,06	0,00	0,14	0,01
1941	0,02	0,23	2,07	3,01	1,31	0,13	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1942	0,03	0,09	0,19	0,82	0,98	0,70	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,10
1943	0,06	1,00	0,45	1,96	1,77	0,27	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08
1944	0,00	0,01	1,00	2,84	2,23	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1945	0,01	0,21	0,79	3,04	2,91	2,91	1,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,53
1946	0,11	0,95	2,00	0,75	0,61	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,25
1947	0,08	0,70	9,77	14,3	3,21	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,92
1948	0,01	0,00	2,76	3,14	1,55	0,67	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1949	0,00	0,02	0,06	1,06	1,02	1,27	0,08	0,03	0,00	0,00	0,09	0,14
1950	0,06	0,02	1,52	11,9	3,67	1,26	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1951	0,00	0,00	0,15	1,04	2,66	1,42	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1952	0,01	0,99	2,78	3,63	2,97	1,08	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
1953	0,00	0,02	0,25	0,38	0,49	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,41
1954	0,00	0,63	0,47	1,77	1,27	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03
1955	0,38	1,93	1,86	1,10	1,08	0,13	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
1956	0,00	0,67	0,97	3,35	2,39	0,79	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
1957	0,42	0,00	1,20	2,86	1,43	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
1958	0,10	0,09	0,04	0,23	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
1959	0,11	0,04	0,62	0,68	0,14	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1960	0,00	0,00	9,37	7,93	2,91	1,24	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1961	0,33	0,85	1,64	1,96	0,58	0,01	0,23	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01
1962	0,02	0,15	0,03	0,03	0,07	0,36	0,13	0,00	0,00	0,04	0,02	0,03
1963	0,01	0,41	3,45	4,36	2,12	0,31	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
1964	1,96	1,95	3,74	3,31	3,71	2,35	0,69	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
1965	0,06	0,05	0,22	5,57	3,57	2,03	1,12	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
1966	0,00	0,64	0,33	0,08	0,06	0,69	0,21	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1967	0,00	0,39	7,13	26,4	9,56	2,48	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1968	0,43	0,28	1,62	1,32	1,50	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1969	0,23	0,42	0,41	0,41	0,44	0,49	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1970	0,24	0,12	1,25	0,27	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
1971	0,01	0,03	0,57	2,79	4,03	1,95	0,65	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
1972	0,17	0,62	0,71	0,36	0,12	0,29	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
1973	0,24	0,07	0,70	1,82	1,91	0,65	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02
1974	0,39	1,61	14,90	6,04	5,61	2,20	0,30	0,00	0,00	0,02	0,11	0,10
1975	0,05	0,04	2,32	3,12	1,76	0,47	0,32	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
1976	0,01	0,40	0,65	0,90	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
1977	0,01	0,06	0,05	1,11	2,82	2,29	0,80	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
1978	0,01	0,08	1,05	1,40	1,49	0,20	0,13	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
1979	0,19	0,37	0,28	0,86	2,13	0,73	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
1980	0,20	0,26	2,58	1,26	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,15	0,14
1981	0,02	0,20	2,23	5,49	1,27	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1982	0,00	0,00	0,06	0,32	1,55	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1983	0,03	0,77	0,69	1,70	0,35	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,02	1,59	33,4	6,25	2,46	0,39	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
1985	0,28	12,1	6,79	10,5	4,59	3,17	1,70	0,15	0,01	0,00	0,00	0,65
1986	2,20	2,74	9,89	7,99	3,09	1,16	0,08	0,04	0,00	0,00	0,03	0,02
1987	0,04	0,63	0,41	0,14	0,14	0,02	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,01	0,09	1,08	3,43	4,00	1,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37
1989	0,03	0,00	0,34	11,0	12,50	2,70	0,69	0,00	0,00	0,04	0,00	0,23
<b>Parâmetros Estatísticos</b>												
<b>Med</b>	<b>0,20</b>	<b>0,69</b>	<b>2,58</b>	<b>4,04</b>	<b>2,27</b>	<b>0,96</b>	<b>0,24</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,09</b>
<b>S</b>	0,48	1,69	3,79	5,94	2,28	0,99	0,39	0,02	0,01	0,01	0,10	0,18
<b>CV</b>	2,45	2,44	1,47	1,47	1,00	1,02	1,63	2,44	3,03	3,01	2,96	1,98

Fonte: Adaptado do PDRH, 1997.

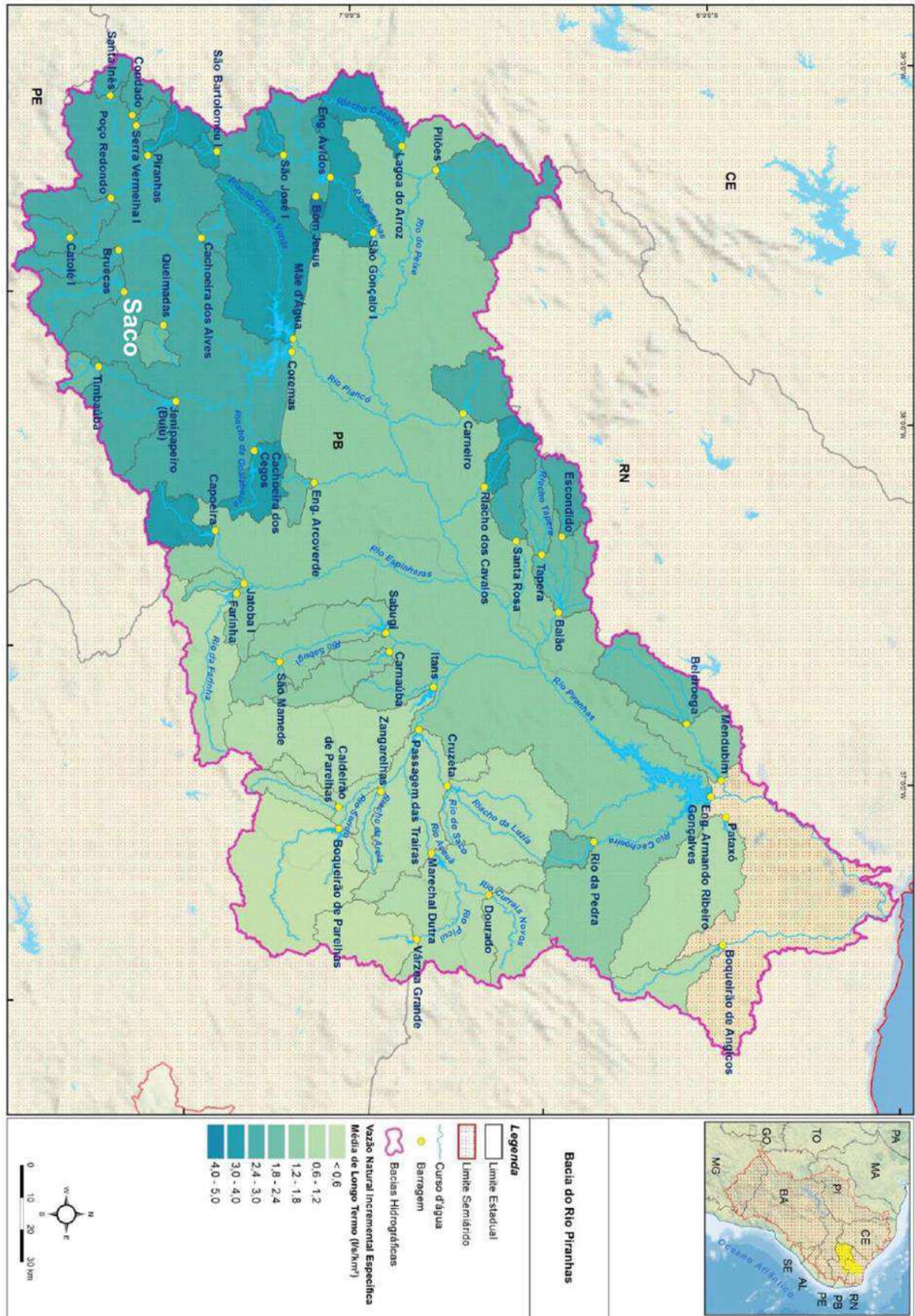
Figura 33 - Representação Esquemática do Modelo MODHAC.



Fonte: LANNA, 1997.



Figura 34 - Sistema de Reservatórios da Bacia dos Rios Piancó-Piranhas-Açu



Fonte: Adaptado de ANA, 2017b.