



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,
INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR
EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE (PPGIES)**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
ENERGÉTICO EM PEQUENOS CURSOS D'ÁGUA**

MARCOS AURÉLIO DE ARAUJO

Foz do Iguaçu
2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,
INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERDISCIPLINAR
EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE (PPGIES)**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL
ENERGÉTICO EM PEQUENOS CURSOS D'ÁGUA**

MARCOS AURÉLIO DE ARAUJO

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Hideo Ando Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Jorge Javier Gimenez Ledesma

Foz do Iguaçu
2022

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO EM PEQUENOS CURSOS D'ÁGUA

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Hideo Ando Júnior
UNILA

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Javier Gimenez Ledesma
UNILA

Prof. Dr. Jiam Pires Frigo
UNILA

Prof^a. Dra. Taynara Geysa Silva do Lago
UFPB

Foz do Iguaçu, 21 de dezembro de 2022.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor: Marcos Aurélio de Araujo

Curso: Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade

Tipo de Documento:

- | | |
|------------------------|--|
| (.....) graduação | (.....) artigo |
| (.....) especialização | (.....) trabalho de conclusão de curso |
| (X) mestrado | (.....) monografia |
| (.....) doutorado | (X) dissertação |
| | (.....) tese |
| | (.....) CD/DVD – obras audiovisuais |
| | (.....) Exame de qualificação |

Título do trabalho acadêmico: Desenvolvimento de um Software para Avaliação do Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água

Nome do orientador: Prof. Dr. Oswaldo Hideo Ando Júnior

Data da Defesa: 21/12/2022

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor:

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, 21 de dezembro de 2022.



Assinatura do Responsável

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA – PTI

A663

Araujo, Marcos Aurélio de.

Desenvolvimento de um software para avaliação do potencial energético em pequenos cursos d'água /
Marcos Aurélio de Araujo. - Foz do Iguaçu-PR, 2023.
98 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-
Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em
Energia e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu-PR, 2023.

Orientador: Oswaldo Hideo Ando Júnior.

Coorientador: Jorge Javier Gimenez Ledesma.

1. Central hidrelétrica. 2. Projeto hidrelétrico. 3. Engenharia de software. 4. Sistema computacional. 5.
Avaliação do potencial energético. 6. Energias Renováveis. I. Ando Júnior, Oswaldo Hideo. II. Ledesma,
Jorge Javier Gimenez. III. Título.

CDU 620.91

Dedico este trabalho aos meus pais, Wilson José de Araujo "*In Memoriam*" e Crissantina Cidral da Costa, pela minha existência, pois sem eles este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar a Deus, por ter dado a vida.

Aos meus pais Vilson (*in memoriam*) e Crissantina, pelo incentivo, apoio e estímulo para enfrentar as barreiras da vida.

A minha esposa Elizane pela motivação e paciência durante a execução deste trabalho.

Aos meus filhos Christian e Christopher pela compreensão e confiança.

Aos professores do curso e da banca pelas orientações, que não mediram esforços para transmitir o conhecimento, em especial, ao meu professor orientador Prof. Dr. Oswaldo Hideo Ando Júnior, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade.

Aos colegas, pelo companheirismo e amizade.

E, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Se tu mesmo não consegues com teu esforço realizar algo, não penses ser isso impossível para o ser humano; se, entretanto, algo é possível ao ser humano e lhe é próprio, pensa que isso a ti também é acessível.

Marco Aurélio (Meditações)

RESUMO

Centrais hidrelétricas obtêm energia dos recursos hídricos superficiais disponíveis e a convertem em um bem econômico, quando esta energia é resultado de arranjos otimizados e ações sustentáveis, tem um custo mais baixo, maior eficiência e menor impacto ao ambiente. Para a avaliação do potencial energético dos recursos hídricos é necessário estimar as dimensões do reservatório, a sua variação de volume e as vazões, a utilização de *software* durante este procedimento contribui para acelerar a execução do serviço, fomentar as melhores práticas e agilizar o desempenho da organização. A proposta aqui, é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para auxiliar os engenheiros em estudos preliminares, durante a fase de avaliação do potencial energético de pequenos cursos d'água. As soluções proporcionadas por esta tecnologia visam otimizar os processos e contribuir para o aumento da eficiência, resultando em vantagem competitiva. O *software* proposto é dedicado a cálculos para projetos de centrais geradoras de energia elétrica e comparar cenários. Para tal, são introduzidos no *software*, as características do curso d'água e o local onde a hidrelétrica será instalada, o sistema processa estes dados e apresenta um relatório com informações sobre a produção de energia. São fornecidos relatórios sobre vários cenários, o que ajuda o engenheiro a escolher o projeto que melhor satisfaz os requisitos de qualidade, e também fornece informações sobre a viabilidade ou não do empreendimento. Para o desenvolvimento do *software* proposto, foram utilizados os princípios da Engenharia de *Software*, o que proporciona uma melhor compreensão dos requisitos, uma melhor adaptação às novas tecnologias de implementação e custos de manutenção mais baixos. Para a modelagem, foi utilizada a Linguagem de Modelagem Unificada, por tratar-se de uma linguagem de modelagem que utiliza notação gráfica, utilizada em várias tarefas que envolvem projetos de *software*. Para a implementação, foram utilizados os conceitos de Programação Orientada a Objetos e da linguagem de programação Python, devido à sua capacidade de desenvolvimento web e à disponibilidade de um grande número de bibliotecas, o que facilita tarefas complexas. Durante os testes, os valores obtidos por meio do *software* foram comparados com valores reais de usinas em funcionamento, os resultados ficaram dentro de parâmetros aceitáveis. Este projeto pode contribuir com benefícios econômicos, científicos e acadêmicos, fornecendo uma ferramenta adicional para apoiar as energias renováveis.

Palavras-chave: central hidrelétrica; projeto hidrelétrico; engenharia de *software*; sistema computacional; avaliação do potencial energético.

ABSTRACT

Hydropower plants obtain energy from available surface water resources and convert it into an economic good, when this energy is the result of optimized arrangements and sustainable actions, it has a lower cost, greater efficiency and less impact on the environment. For the evaluation of the energy potential of water resources it is necessary to estimate the dimensions of the reservoir, its volume variation and the flows, the use of software during this procedure contributes to accelerate the execution of the service, foster best practices and streamline the performance of the organization. The proposal here, is the development of a computational tool to assist engineers in preliminary studies, during the evaluation phase of the energy potential of small waterways. The solutions provided by this technology aim to optimize processes and contribute to increased efficiency, resulting in competitive advantage. The proposed software is dedicated to calculations for power plant projects and to compare scenarios. For this, the characteristics of the watercourse and the location where the hydroelectric plant is to be installed are entered into the software, the system processes this data and presents a report with information about the energy production. Reports are provided on various scenarios, which helps the engineer to choose the project that best meets the quality requirements, and also provides information on the feasibility or otherwise of the project. For the development of the proposed software, the principles of Software Engineering were used, which provides a better understanding of the requirements, better adaptation to new implementation technologies, and lower maintenance costs. For the modeling, the Unified Modeling Language was used, because it is a modeling language that uses graphic notation, used in various tasks involving software projects. For the implementation, the concepts of Object Oriented Programming and the Python programming language were used, due to its web development capability and the availability of a large number of libraries, which facilitates complex tasks. During the tests, the values obtained through the software were compared with real values of plants in operation, the results were within acceptable parameters. This project can contribute economic, scientific, and academic benefits by providing an additional tool to support renewable energy.

Keywords: hydropower plant; hydropower design; software engineering; computer system; energy potential assessment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma com as etapas da metodologia	28
Figura 2 - Artigos sobre hidrelétrica com mais de 80% de representatividade	31
Figura 3 - Artigos sobre <i>software</i> com mais de 80% de representatividade	31
Figura 4 - Fluxograma do processo metodológico	37
Figura 5 - Fluxograma dos estudos hidroenergéticos	38
Figura 6 - Divisão de quedas no Rio Iguaçu.....	40
Figura 7 - Central Hidrelétrica de Represamento	42
Figura 8 - Central Hidrelétrica de Desvio	43
Figura 9 - Central Hidrelétrica de Derivação	44
Figura 10 - Classificação das turbinas	45
Figura 11 - Ciclo de vida clássico	53
Figura 12 - Diagrama da UML	55
Figura 13 - Arquitetura da solução	58
Figura 14 - Diagrama de Contexto	58
Figura 15 - Diagrama de Estrutura	61
Figura 16 - Fluxograma do processo de dimensionamento	62
Figura 17 - Diagrama de Caso de Uso: Módulo Geral	67
Figura 18 - Diagrama de Classes: Módulo Geral	68
Figura 19 - Diagrama de Sequência: Módulo Geral	69
Figura 20 - Diagrama de Atividade: Módulo Cenários	70
Figura 21 - Diagrama de Caso de Uso: UC 02 - Manter Proposta	71
Figura 22 - Diagrama de Sequência: UC 02 - Manter Proposta	71
Figura 23 - Diagrama de Classes: UC 02 - Manter Proposta	72
Figura 24 - Arquitetura MTV Django.....	75
Figura 25 - Tela de Autenticação	76
Figura 26 - Tela Inicial	76
Figura 27 - Tela “Editar Funcionário”	77
Figura 28 - Tela “Editar Proposta”	77
Figura 29 - Tela “Editar Projeto”	78
Figura 30 - Tela “Aproveitamento Hidrelétrico”	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais propriedades das ferramentas computacionais	26
Quadro 2 - Exemplo de Tabela de Decisão	52
Quadro 3 - Estruturas típicas de centrais hidrelétricas	60
Quadro 4 - Tabela de Decisão	64
Quadro 5 - Caso de Uso - Autenticação	73
Quadro 6 - Caso de Uso – Manter Proposta	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios e filtros para a pesquisa	29
Tabela 2 - Resultado bruto da busca sistemática	30
Tabela 3 - Enquadramento das hidrelétricas	40
Tabela 4 - Regime operativo dos reservatórios	41
Tabela 5 - Campo de aplicação dos diversos tipos de turbinas.....	48
Tabela 6 - Eficiência típica de turbinas e geradores	50
Tabela 7 - Dados da UHE Marimbondo.....	81
Tabela 8 - Tabela da relação entre altura de queda e energia anual.....	82
Tabela 9 - Tabela da relação entre vazão afluente e energia anual	83
Tabela 10 - Tabela da relação entre rendimento e energia anual.....	83
Tabela 11 - Tabela da relação entre fator de disponibilidade e energia anual	84
Tabela 12 - Tabela da relação entre potência instalada e energia anual.....	85
Tabela 13 - Dados obtidos do sistema	87
Tabela 14 - Dados reais de hidrelétricas	87
Tabela 15 - Dados obtidos do sistema	88
Tabela 16 - Dados reais de hidrelétricas	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Aplicação de turbinas hidráulicas.....	46
Gráfico 2 - Gráfico da relação entre altura de queda e energia anual.....	82
Gráfico 3 - Gráfico da relação entre vazão afluente e energia anual	83
Gráfico 4 - Gráfico da relação entre rendimento e energia anual.....	84
Gráfico 5 - Gráfico da relação entre fator de disponibilidade e energia anual	85
Gráfico 6 - Tabela da relação entre potência instalada e energia anual.....	86
Gráfico 7 - Comparação entre dados obtidos do sistema e reais.....	87
Gráfico 8 - Comparação entre dados obtidos do sistema e reais.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
API	Interface de Programação de Aplicação
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Chaminé de Equilíbrio
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CF	Conduto Forçado
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DGPS	Sistema de Posicionamento Global Diferencial
CRUD	<i>Create-Read-Update-Delete</i> (Inserir-Consultar-Editar-Excluir)
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GIS	<i>Geographic Information System</i> (Sistema de Informação Geográfica)
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
MEC	Ministério da Educação e Cultura
MF	Máquina de Fluxo
MME	Ministério das Minas e Energias
MT	Média tensão
MTV	<i>Model-Template-View</i> (Modelo-Template-Vista)
MVP	<i>Minimum Viable Product</i> (Produto Mínimo Viável)
NBR	Norma Brasileira
NJ	Nível de Jusante
NM	Nível de Montante
NTC	Norma Técnica Copel
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMA	Operação e Manutenção Anual
ONU	Organização das Nações Unidas
OO	Orientação a Objetos
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
POO	Programação Orientada a Objetos
PPGIES	Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SAPECA	Sistema para Avaliação de Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água
SAW	<i>Simple Additive Weighting</i> (Ponderação Simples Aditiva)
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIN	Sistema Interligado Nacional
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SQL	<i>Structured Query Language</i> (Linguagem de Consulta Estruturada)
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TA	Tubo de Aeração
UE	União Europeia
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
UML	<i>Unified Modeling Language</i> (Linguagem de Modelagem Unificada)
VPL	Valor Presente Líquido
WEF	<i>Water-Energy-Food</i> (Água-Energia-Alimentos)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 MOTIVAÇÃO	18
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	19
1.3 CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA	20
1.4 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	21
2 TRABALHOS RELACIONADOS	23
2.1 ESTADO DA ARTE	23
2.2 PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO	27
2.2.1 Eixo 1 - Energia Hidrelétrica	32
2.2.2 Eixo 2 - Desenvolvimento de <i>Software</i>	34
2.3 CONSIDERAÇÕES	35
3 METODOLOGIA	36
4 ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS	38
4.1 ESTUDOS BÁSICOS	39
4.1.1 Aproveitamento Hidrelétrico	39
4.1.2 Classificação das Hidrelétricas	40
4.1.3 Capacidade de Regulação	41
4.2 ARRANJOS DAS ESTRUTURAS	41
4.3 EQUIPAMENTOS ELETROMECAÂNICOS	45
4.3.1 Turbina Hidráulica	45
4.3.2 Gerador Elétrico	48
4.3.3 Eficiência da Turbina e do Gerador	50
4.3.4 Energia Anual Gerada	50
4.4 TOMADA DE DECISÃO	51
4.4.1 Tabela de decisão	51
4.5 CONSIDERAÇÕES	52
5 MODELAGEM DO SOFTWARE	53
5.1 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	54
5.2 ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS	54
5.3 DIAGRAMAS UML	55
5.4 CONSIDERAÇÕES	55
6 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	56
6.1 MODELAGEM	56
6.1.1 Finalidade, Escopo e Usuários	56
6.1.2 Arquitetura da solução	57
6.1.3 Diagrama de contexto	58
6.1.4 Diagrama de estrutura	59
6.1.5 Tabela de decisão	63
6.1.6 Especificação de Requisitos	65
6.1.7 Caso de Uso - Geral	66
6.1.8 Caso de Uso - Proposta	70
6.2 IMPLEMENTAÇÃO	73
6.2.1 Ferramentas para a implementação	74
6.2.2 Prova de conceito	75
6.3 CONSIDERAÇÕES	79
7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	80

7.1 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO SOFTWARE	81
7.2 CONSISTÊNCIA, COMPLETEZ E CORREZUDE DO SOFTWARE	86
7.3 CONSIDERAÇÕES	89
8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	90
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

A capacidade do parque hidrelétrico mundial em 2020, segundo o *Hydropower Status Report* (IHA, 2021), foi de 1.330 GW (Gigawatt), no entanto, a necessidade de energia proveniente de recursos hídricos em 2050 será de 2.600 GW. Esta informação sugere que para os próximos anos haverá a necessidade de construir a mesma capacidade de usinas hidrelétricas. De acordo com este cenário, constata-se a importância da energia hidráulica para a segurança energética, justificando futuros investimentos nessa fonte de energia.

A oferta de energia elétrica no Brasil em 2019, foi de 651,3 TWh (Terawatt-hora), a produção feita por fonte hídrica correspondeu a 64,9% do total, o que equivale a 422,8 TWh (EPE, 2021). Os dados mostram que o Brasil é rico em recursos hídricos, uma fonte de energia limpa que depende apenas do ciclo da água, naturalmente, há vantagens e desvantagens no uso desse recurso, porém, um estudo criterioso em um determinado aproveitamento disponível, pode provocar impactos ambientais menores.

Para a avaliação do potencial energético dos recursos hídricos é necessário estimar as dimensões do reservatório, a sua variação de volume e as vazões, a utilização de *software* durante este procedimento contribui para acelerar a execução do serviço, fomentar as melhores práticas e agilizar o desempenho da organização.

A fase de projeto de uma unidade de geração de energia demanda alguns estudos preliminares, no qual se dimensiona o quanto de energia é necessário e o quanto a fonte de energia pode disponibilizar. A proposta da presente pesquisa é auxiliar nesses estudos preliminares com o desenvolvimento de um *software*, que pretende criar uma facilidade na fase de avaliação do potencial energético de pequenos cursos d'água. O projetista irá recorrer ao *software*, que lhe direcionará nos passos que deve percorrer para o citado dimensionamento.

As etapas para o estudo de projetos de aproveitamento de potenciais hidrelétricos são: (i) estimativa do potencial hidrelétrico; (ii) estudos de inventário hidrelétrico; (iii) estudos de viabilidade técnica e econômica; (iv) projeto básico; e (v) projeto executivo (FERREIRA, 2014).

Na estimativa do potencial hidrelétrico é feito uma análise preliminar da bacia hidrográfica, que objetiva reunir informações sobre aspectos topográficos, geológicos, hidrológicos e ambientais.

No inventário hidrelétrico é determinado o potencial energético da bacia hidrográfica, indicando a configuração das partições de quedas que apresentem melhor resultado com o menor impacto ambiental.

Para verificar se o empreendimento terá o retorno financeiro desejado, durante o estudo de viabilidade é feito o dimensionamento do aproveitamento, das obras de infraestrutura, do reservatório e das ações socioambientais. A próxima etapa é a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), estes estudos, subsidiam os processos de licitação da concessão.

O projeto básico é o desenvolvimento detalhado do estudo de viabilidade e não deve sofrer alterações nos valores do nível máximo a montante, nível a jusante, potência mínima e coordenadas geográficas (BRASIL, 1995). Com o projeto básico em mãos já é possível fazer os projetos de obras civis, relacionar equipamentos necessários para aquisição, minutas de contrato, projeto socioambiental, entre outros. O projeto básico deve ser elaborado de acordo com as normas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual também deverá ser submetida para aprovação.

A etapa do projeto executivo abrange a elaboração dos desenhos de detalhamento das obras civis e a montagem dos equipamentos. O contexto do *software* em desenvolvimento está entre o estudo de viabilidade e o projeto básico.

As soluções proporcionadas pela tecnologia da informação, são para otimizar os processos e contribuir para o aumento da eficiência organizacional, resultando em vantagem competitiva. Os sistemas de informações também facilitam a tomada de decisões, contribuindo para o aumento da produtividade. O *software* proposto será dedicado a cálculos para projetos de centrais geradoras de energia elétrica e comparar cenários.

A proposta discutida aqui é o desenvolvimento de um *software*, que tem como entrada de dados a vazão e o desnível natural do curso d'água onde se pretende instalar a central hidrelétrica. Estes dados juntamente com informações de perdas hidráulicas no circuito de geração, contribui para apresentação de um relatório contendo conhecimento sobre a potência elétrica do aproveitamento energético. Então, relatórios com informações sobre vários cenários, com arranjos diferentes para

a hidrelétrica, são produzidos, fornecendo subsídios para o projetista escolher o projeto que melhor atenda aos requisitos de qualidade.

Os benefícios proporcionados por um sistema informatizado estão na distribuição mais adequada do tempo e nos investimentos para construção do empreendimento. Os projetistas podem alterar dados inicialmente atribuídos e obter atualizações sobre os acréscimos ou diminuições no orçamento. Também, podem ser realizadas simulações da produção de energia de acordo com o nível do rio a montante. Muitas outras vantagens podem ser exploradas e mesmo que uma funcionalidade fique fora do *software*, atualizações futuras podem suprir estas falhas.

A ferramenta para análise do *software* será a Linguagem de Modelagem Unificada (UML), por ser uma linguagem de notação padrão e amplamente utilizada. Com a UML é possível representar um modelo que ilustre o comportamento do sistema, facilitando as etapas de concepção do *software*.

Quando há a necessidade de avaliação do potencial energético em pequenos cursos d'água, o empreendedor recorre ao *software*. Então, o usuário entra no sistema, cria um novo projeto ou edita um existente, preenche os campos com dados referentes ao seu projeto e ao final é apresentado um relatório contendo gráficos e informações, que subsidiarão decisões, como, aceitar a sugestão ou volta e fazer ajustes.

1.1 MOTIVAÇÃO

O consumo de energia elétrica comporta-se de forma intermitente ao longo do dia, semana, mês, estação do ano e feriados, essa variabilidade da demanda pode ser diferente do comportamento da oferta, no entanto, a energia elétrica deve estar disponível no momento do uso.

Em um cenário onde o produtor e o consumidor de energia elétrica são os mesmos, conectar a geração de energia a rede de distribuição, impõe um dimensionamento onde a produção da central hidrelétrica deve fornecer somente a média do consumo próprio, fazendo da rede de distribuição um componente de armazenamento.

Para um sistema hidrelétrico com objetivo comercial, o recurso hídrico pode ser aproveitado em seu máximo, entretanto, deve-se respeitar a vazão outorgada. O uso de um sistema computacional pode ajudar nesses cálculos, tornando o dimensionamento mais ágil e menos suscetível a erros.

O processo necessário para dimensionamento de uma central hidrelétrica requer o conhecimento sobre geomorfologia, hidrologia, equipamentos de geração, instalações elétricas, estruturas de concreto, aspectos socioeconômicos e meio ambiente. Esses processos envolvem o intercâmbio de informações entre vários profissionais de áreas específicas, como por exemplo, engenheiros hídrico, mecânico, elétrico, civil e ambiental, entre outros. Da interação entre estes profissionais, sai um planejamento para projetar e construir um empreendimento que fará parte de uma rede de geração e distribuição de energia.

Apesar do *software* não considerar todos os aspectos que envolve a construção de uma estação geradora de energia, auxilia em seus processos preliminares, promove a comunicação entre os profissionais e centraliza as decisões em uma única plataforma.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O uso de um *software* contribui para acelerar a execução do serviço, fomenta melhores práticas e agiliza o desempenho da organização. A solução proposta tem aplicabilidade em empresas que prestam serviços no estudo de projetos de aproveitamento hidrelétrico, agilizando a avaliação preliminar do empreendimento.

Apesar da importância de uma ferramenta para automatizar tarefas manuais e fazer com que haja concentração de esforços em processos críticos, há poucas ferramentas computacionais para auxiliar o dimensionamento de hidrelétricas, o que justifica o esforço no desenvolvimento do *software* proposto.

O sistema computacional proposto pretende simplificar os estudos necessários para a comparação entre alternativas de arranjos e a consequente análise de suas vantagens e desvantagens, auxiliando a equipe na economia de tempo.

O *hardware*, parte física do sistema computacional, é uma máquina constituída de processadores, memórias e periféricos, que sofrem atualizações tecnológicas constantemente. Igualmente, o *software*, constituído por um conjunto de instruções e que permite a realização de tarefas, devem atender constantemente os requisitos dos clientes. Para isso, a presente proposta disponibilizará o *software* por meio de páginas *web* em *site* na *Internet*. Empresas ou pessoas que desejam dimensionar uma central hidrelétrica, podem visitar a página *web*, entrar com os dados, fazer simulações e obter os resultados.

O *software* proposto torna o processo decisório mais eficiente, quando oportuniza a cooperação entre diversos profissionais no mesmo projeto e aumenta a produtividade do trabalho, quando oferece uma ferramenta de fácil interação. A prestação de serviços mais eficiente e coordenada, aumenta a produtividade e a disponibilidade de informação em tempo hábil. O tratamento adequado das informações permite maior agilidade no processo decisório e fornece subsídios mais significativos ao planejamento das ações futuras.

O ambiente de interação do sistema com o usuário será feito exclusivamente via *web*, não havendo interferência do mantenedor do sistema nas transações realizadas. Acréscimo de funcionalidade e correções podem ser sugeridas pelo usuário em um campo específico.

1.3 CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

A proposta da presente pesquisa é fazer a modelagem e a implementação de um sistema computacional, que receba os dados de disponibilidade hídrica do local escolhido para construção da central hidrelétrica e apresente como resposta a estimativa de energia gerada, com informações suficientes para viabilizar ou não o empreendimento. As informações obtidas do sistema são respostas ao conjunto de dados inter-relacionados coletados, processados e armazenados.

O uso de um de *software* para auxiliar na prospecção energética de um curso d'água, facilita o controle de processos, padroniza e otimiza as etapas iniciais do projeto, provendo tomadas de decisões melhores ao longo de todo engajamento. Os benefícios deste *software* estendem aos meios acadêmicos, onde contribuições futuras poderão criar novas funcionalidades para atender demandas não observadas neste estudo.

Usinas hidrelétricas obtêm energia dos recursos hídricos superficiais disponíveis e a convertem em um bem econômico, quando esta energia é resultado de arranjos otimizados e ações sustentáveis, tem um custo mais baixo, maior eficiência e causa menos impacto no ambiente. Estes aspectos positivos são conseguidos com o auxílio de equações, que mostram as dimensões de estruturas mais adequadas e desejadas para o empreendimento.

Em decorrência de estudos preliminares de projetos hidrelétricos para a bacia hidrográfica e levando em consideração o aproveitamento concorrente de cada cenário, é de se esperar que a escolha incida na alternativa de arranjo de uma estação

geradora de energia com *layout* mais atrativo. Os parâmetros obtidos de variáveis inseridas pelo usuário e dos resultados de equações, contribuirão para as demais etapas, então o tomador de decisões terá em mãos um índice de custos versus benefício, com a comparação energética de cada alternativa.

1.4 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A presente pesquisa visa o projeto e desenvolvimento de um *software* que auxilie no dimensionamento de hidrelétricas de forma acessível e intuitiva. Para atender a este objetivo, os seguintes objetivos específicos são necessários:

- Estruturar e organizar os passos do dimensionamento de hidrelétricas;
- Modelar e desenvolver um sistema computacional; e
- Validar e apresentar o *software* proposto.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação de mestrado envolve o conhecimento das áreas de engenharia e computação, para discorrer sobre estes assuntos a mesma foi dividida em 8 capítulos. Onde, na introdução (capítulo 1) aborda-se de maneira ampla o tema proposto, no qual são apresentadas a motivação, a contribuição da pesquisa, as justificativas, a relevância e os objetivos.

No capítulo 2 é analisado os trabalhos relacionados, onde são vistos o estado da arte e o portfólio bibliográfico. Para este portfólio foi usado o método "*Methodi Ordinatio*", na qual a pesquisa é orientada em dois eixos temáticos, o de aproveitamento hidrelétrico e o de desenvolvimento de sistemas, bem como, é discutido alguns artigos sobre o assunto.

No capítulo 3 é tratado a metodologia, no qual são detalhados os procedimentos que irão balizar as ações para a realização da pesquisa.

O capítulo 4 é dedicado aos estudos hidroenergéticos, onde são apresentados os detalhes para a obtenção do potencial energético hidráulico de pequenos cursos d'água.

No capítulo 5 o foco é na modelagem de *software*, no qual é apresentado de forma resumida a UML e os conceitos da Orientação a Objetos (OO).

No capítulo 6 são apontados a parte teoria do desenvolvimento do *software* e como é feita a implementação física do *software*.

No capítulo 7, estão as análises e discussão dos resultados, no qual são mostradas as características do *software* e suas funcionalidades.

No capítulo 8, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros, no qual é realizado uma síntese das ideias constantes no presente trabalho.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados o estado da arte e uma revisão da literatura, baseada em artigos que tratam do assunto.

2.1 ESTADO DA ARTE

Apesar de já estar consagrado os aspectos construtivos de usinas hidrelétricas, existem poucas ferramentas computacionais que auxiliam no dimensionamento dessas estações geradoras de energia. Para preencher esta lacuna e ainda contribuir na área de energias renováveis, esta pesquisa se propõe a fornecer uma ferramenta computacional para auxiliar engenheiros em construção, reabilitação, repotenciação ou modernização de projetos hidrelétricos.

Nesta seção, é apresentado uma breve descrição de ferramentas computacionais, que visam auxiliar no dimensionamento de usinas hidrelétricas.

HERA - Sistema de Apoio à Decisão sobre Seleção de Inventários Hidrelétricos. Este sistema é uma ferramenta de modelagem que gera cenários multivariados de vazões, que auxilia no estudo de potencial hidrelétrico em bacias hidrográficas. O objetivo do *software* é simular diferentes configurações de construção de uma usina hidrelétrica, conforme previsto no inventário hidrelétrico para a bacia hidrográfica, o que proporciona uma maneira de selecionar o modelo mais otimizado. O *software* foi desenvolvido pela PSR - *Energy Consulting and Analytics*, uma empresa brasileira que desenvolve soluções nos setores de energia elétrica e gás natural (HERA, 2020).

Centrais Hidrelétricas - Sistema desenvolvido na Universidade Federal de Itajubá e é baseado no livro “Centrais Hidrelétricas – Estudos para Implantação” dos autores Zulcy de Souza, Afonso Henrique Moreira Santos e Edson da Costa Bortoni. O *software* adota os algoritmos descritos no livro e possui os seguintes módulos: *Alta, Ancora, Apoio, Atenua, Baixa, Barragem, Base, Canal, Cheias, Conti, Câmara, Desarena, Dura, Enseca, NGG, Portf e Quedas*. Ao iniciar cada modulo é solicitado ao usuário para preencher os campos com as variáveis de entrada ou aceitar valores de exemplo, em seguida abre um formulário com abas de entrada e saída de dados. Atualmente o sistema está descontinuado (SOUZA, 2009).

Pré-dimensionamento - Planilha de Pré-dimensionamento de Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs), é uma planilha *Microsoft Excel*, desenvolvida para a Secretaria

de Energia do estado de São Paulo, tem o objetivo de auxiliar o empreendedor em estudos de alternativas de viabilidade de CGHs com capacidade de até 1 MW (Megawatt), a ferramenta é adequada para estimar os custos e a energia produzida (PRÉ-DIMENSIONAMENTO, 2021).

SHPD - *Small Hydro Power Designer*, é uma planilha *Microsoft Excel*, desenvolvida por Muhammad Asif, fornece ferramentas para análise, projeto e seleção de alternativas de pequenas Centrais hidrelétricas com capacidade de até 15 MW. A planilha funciona corretamente somente na versão *MS-Excel 2007* (SHPD, 2021).

SMI - *Smart Mini-Idro*, é uma planilha *Microsoft Excel*, produzido pela empresa *Ricerca sul Sistema Energético - RSE S.p.A.*, tem o objetivo de auxiliar o projetista em uma primeira abordagem para avaliar um aproveitamento hidrelétrico, considera a curva de duração e altura de queda. É destinada para análise de viabilidade técnico-econômica de minicentrals hidrelétricas (SMI, 2021).

MDA – *Microhydro Design Aids*, é uma planilha *Microsoft Excel*, desenvolvido por Pushpa Chitrakar, tem o objetivo de auxiliar o projetista na realização de cálculos e desenhos preliminares para os estudos de viabilidade de micro hidrelétricas de até 100 kW (Quilowatts). Esta ferramenta foi concebida para promover o desenvolvimento do setor hidrelétrico no Nepal (MDA, 2021).

SSSHPE - *Software System for Small Hydropower Project Evaluation*, software desenvolvido em 1990 pelo consórcio *IWB Hydroplan Gopa* para o Reino da Tailândia. O sistema foi escrito nas linguagens de programação *FORTRAN*, *CLIPPER*, *C* e *ASSEMBLER*, como sistema de gerenciamento de banco de dados foi usado o *dBASE III PLUS*, primeiramente foi compilado para ser executado no sistema operacional *UNIX*, em seguida convertido para o sistema operacional *MS-DOS*. O *software* requeria no mínimo uma CPU 8088 com 64 KB (Quilobyte) de memória principal e HD com pelo menos 50 MB (Megabyte). Para validar os algoritmos, o *software* foi submetido a projetos pilotos, o que proporcionou uma melhoria do sistema. O objetivo deste *software* era auxiliar o projetista na matemática envolvida no processo e no tratamento dos dados para gerar relatórios (SSSHPE, 2021).

SIMAHPP 5 - *Hydropower Projects Feasibility Simulator*, é um *software* desenvolvido pela empresa *HydroXpert*, tem o objetivo de auxiliar em projetos hidrelétricos, fornece informações para a seleção da turbina, apresenta relatório sobre a produção de

energia, estima os custos de investimento, fornece resultados sobre a receita de venda de energia e leva em consideração o impacto ambiental. Uma funcionalidade interessante é a opção de criar até cinco locais ou cenários de projetos. O *software* é pago e está disponível em três pacotes: *Standard*, *Professional* e *Enterprise* (SIMAHPP 5, 2021).

As principais propriedades das ferramentas computacionais acima mencionadas são mostradas no Quadro 1.

As ferramentas computacionais analisadas cumprem suas tarefas. Sendo que o *software* “HERA” se propõe a auxiliar na escolha do projeto com melhor benefício econômico. O *software* “Centrais Hidrelétricas” possui ótimas ferramentas para dimensionamento, porém, foi descontinuado. As planilhas “Pré-dimensionamento”, “*Small Hydro Power Designer*”, “*SMART Mini-Idro*” e “*Microhydro Design Aids*” facilitam de forma razoável todas as etapas do projeto. Não foi encontrado dados adicionais sobre o “SSSHPE”, quanto ao “SIMAHPP 5”, é um *software* profissional, que faz estudos de viabilidade, análises e relatórios, integrando parâmetros hidráulicos, financeiros e ambientais, é o único pago.

Com exceção dos *softwares* “HERA” e “SIMAHPP 5”, os demais aplicativos, parecem não ter planos de evolução em suas versões. As desvantagens no uso de planilhas para o dimensionamento de um empreendimento, é a sua incapacidade de criar associações em banco de dados e o conflito que ocorre quando o arquivo é carregado em versões diferente do programa.

O diferencial do sistema proposto é que ele é uma ferramenta de fácil utilização, fornece relatórios detalhados, pode ser acessado remotamente a partir de um navegador da *internet*, fica disponível aos interessados a qualquer momento e não necessita ser instalado. Com estas observações, foi verificado a necessidade de desenvolver um *software* específico para fazer os estudos hidroenergéticos de centrais hidrelétricas.

Quadro 1 - Principais propriedades das ferramentas computacionais

Nome (link)	Principais propriedades	Licença	Versão
Hera (https://www.psr-inc.com/software/?current=p7065)	<ul style="list-style-type: none"> Faz simulação de reservatórios; Auxilia na análise de impactos; Auxilia na estimativa de custos; Permite a modificação de parâmetros; e Propõe combinações de projeto. 	gratuita	1.3.0-beta2
Centrais Hidrelétricas (https://www.editorainterciencia.com.br/index.asp?pg=downloads.asp)	<ul style="list-style-type: none"> Programa de cunho didático; Pode ser utilizado para solução de exercícios propostos no livro; Módulos dedicados a soluções específicas; e No livro há um roteiro para implantação de uma hidrelétrica . 	gratuita	1.0.0.0
Pré-dimensionamento (https://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/intranet/renovaveis/pchs/PreDimensionamento.xlsx)	<ul style="list-style-type: none"> Um componente da usina para cada aba; O preenchimento é feito em sequência; Faz a estimativa da energia em função da variação da vazão; Estima o consumo de eletricidade; Estima o orçamento; e Tempo de retorno do projeto. 	gratuita	Não informado
SHPD (https://www.theengineeringcommunity.org/small-hydro-power-designer-v1-1/)	<ul style="list-style-type: none"> Mostra detalhes da estrutura hidráulica; Calcula a produção de energia; Cria curvas de potência e energia; Faz estimativa de custo; e Auxilia na análise econômica. 	gratuita	1.1
SMI (https://www.rse-web.it/prodotti/prodotto/129)	<ul style="list-style-type: none"> Cria curva das durações; Seleção da turbina; Cálculo da potência; Simula uma análise financeira; e Fluxo de caixa. 	gratuita	Não informado
MDA (https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_(MHP)_Manuals/_Micro-Hydro_Design_Aids_Manual)	<ul style="list-style-type: none"> Cálculos hidrológicos; Projeta componentes civis, mecânicos e elétricos; Análise financeira; e Estudo de viabilidade. 	gratuita	2010.04
SSSHPE (http://e-lib.dede.go.th/mm-data/10.pdf)	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionamento de obras civis; Estudo Hidrológico; Estudo Topográfico; Estudo Geológico Simulação hidráulica; e Estudo Econômico. 	Não informado	Não informado
SIMAHPP 5 (http://hydroxpert.com/simahpp/)	<ul style="list-style-type: none"> Compara vários cenários; Configuração de parâmetros de entrada; Geração de relatórios da simulação; e Uso internacional. 	Paga	5.0.1

Fonte: Do autor, 2022.

2.2 PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

A redação de um texto científico, envolve a apreciação do resultado de buscas feitas em bibliotecas físicas ou *online*. As seleções dos artigos mais relevantes deste resultado é uma tarefa que requer a utilização de um método, para que, seja consultado apenas documentos relevantes e que realmente serão necessários na pesquisa. O método deve prevê a seleção das palavras-chaves, base de dados e maneira de selecionar os artigos que realmente estejam alinhados com a pesquisa.

Para a composição do portfólio bibliográfico desta pesquisa, optou-se por usar o método "*Methodi Ordinatio*", proposto por Pagani, Kovaleski e Resende (2021). Empregando este método é possível fazer uma revisão sistemática da literatura de maneira objetiva, criteriosa e científica.

Neste método, o critério de análise para identificar a relevância científica é feita por meio do fator de impacto, ano de publicação e número de citações. O fator de impacto mostra a importância do periódico, o ano de publicação mostra o quão atual é o artigo e o número de citações mostra o reconhecimento pela comunidade científica. A metodologia é composta por nove etapas (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2017), as quais são apresentadas no fluxograma da Figura 1.

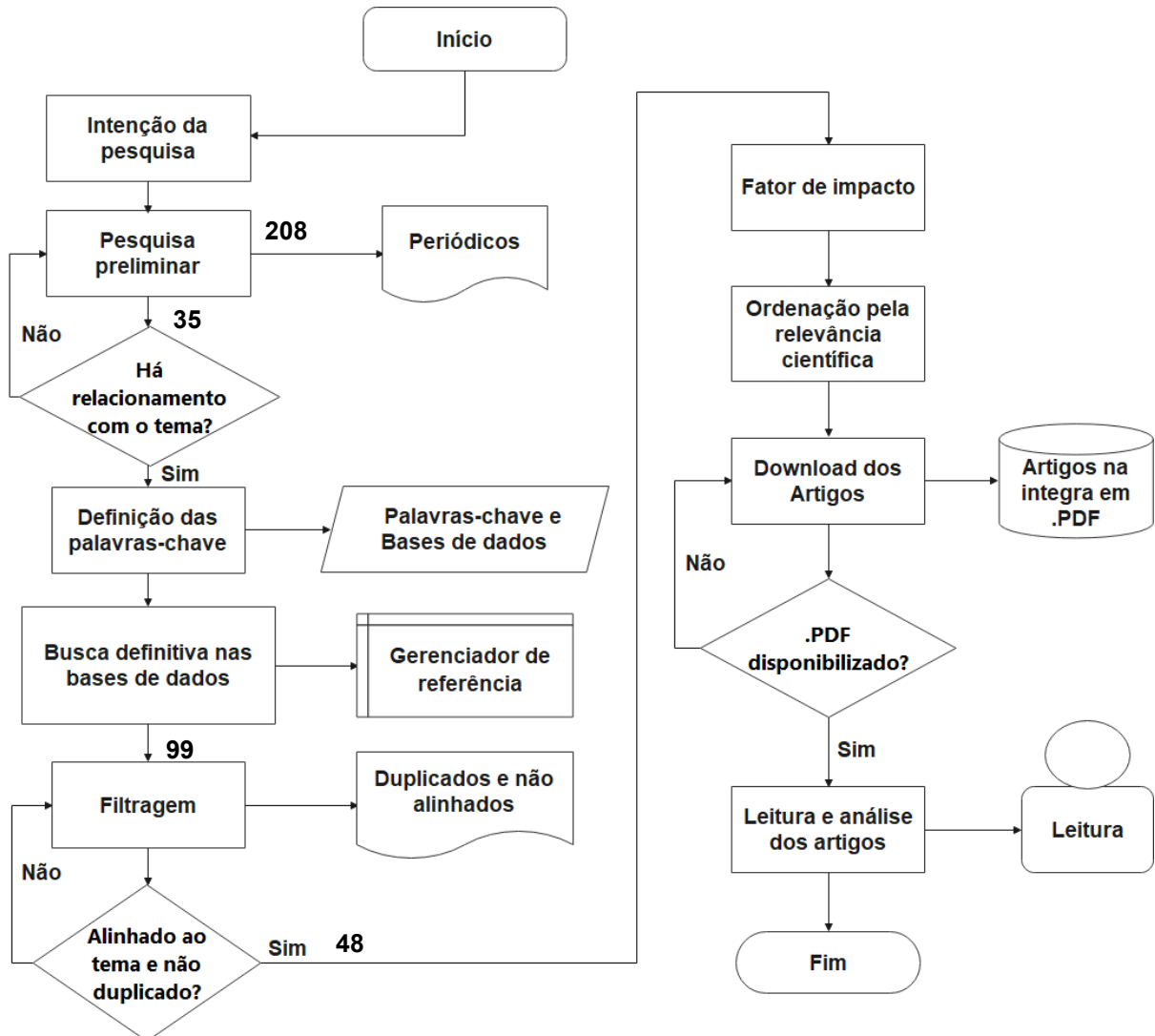
1) Intenção da pesquisa - O fato deste estudo ser direcionado para a modelagem e implementação de uma ferramenta computacional, que almeja auxiliar no projeto de empreendimento que aproveitam o potencial energético de pequenos cursos d'água, a pesquisa deve analisar trabalhos orientados aos eixos de aproveitamento hidrelétrico e de desenvolvimento de sistemas.

2) Pesquisa preliminar - O conjunto de palavras-chave que inicialmente foram escolhidas e que a princípio sintetizavam as ideias almejadas são: "Projeto", "Planejar", "hidrelétrica", "energia hidrelétrica", "desenvolvimento de *software*" e "Ferramenta computacional". Traduzindo as palavras-chave para o Inglês e usando os operadores lógicos, fica: ("*Project*" OR "*Design*") AND ("*hydroelectric*" OR "*hydropower*") AND ("*software development*" OR "*Computational tool*").

Após escolhidas as palavras-chave, buscou-se por periódicos no mecanismo de busca da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), para artigos em Inglês nos últimos 20 anos e revisado por pares, o qual retornou 208 artigos, destes apenas 35 aparentemente correspondiam com o tema. Após leitura dos resumos destes artigos, constatou-se que eles não mantinham relacionamento

com a presente pesquisa, houve então a necessidade de avaliar novas combinações de palavras-chave, base de dados e limitação temporal.

Figura 1 - Fluxograma com as etapas da metodologia



Fonte: Do autor, 2022.

3) Definição das palavras-chave - Para retornar publicações relevantes ao assunto estudado, optou-se em separar a pesquisa em dois eixos temáticos. Primeiro, periódicos na área de aproveitamento hidrelétrico, segundo, periódicos na área de desenvolvimento de sistemas, consequentemente, a pesquisa não retornará artigos com conteúdo com a junção das ideias dos dois eixos. Desta forma, obtém-se retornos de artigos com relevância científica nas duas áreas separadamente, o que trará maior contribuição a presente pesquisa, diferentemente do que foi visto anteriormente.

A Tabela 1, mostra os critérios e filtros para a pesquisa. Tendo as palavras-chave restringido os resultados da pesquisa para artigos que tratam do assunto de interesse. Os termos utilizados em Inglês aumentam o número de resultados e usando os operadores lógicos entre as palavras, criei uma ou mais condições na expressão.

Tabela 1 - Critérios e filtros para a pesquisa

Critério	Descrição
Palavras-chave	Eixo 1 <i>("hydropower" OR "hydroelectric") AND ("potential" OR "resource" OR "project") AND ("assessment")</i>
	Eixo 2 <i>("application" OR "system") AND ("software development")</i>
Inserção das palavras-chaves	No título
Delimitação temporal	Últimos 5 anos
Categoria de estudos	Artigos revisados por pares
Bases de dados	Portal de periódicos CAPES/MEC

Fonte: Do autor, 2022.

4) Busca definitiva nas bases de dados - Nesta etapa foi realizada a pesquisa definitiva. Após a busca, os resultados foram transferidos ao gerenciador de referência *Mendeley* (MENDELEY, 2021). A Tabela 2 mostra o resultado bruto da busca sistemática.

Para os resultados do Eixo 1, após análise, foi verificado que as palavras-chave mais frequentes contidas nos artigos são, *"Engineering"*, *"Hydroelectric Power"* e *"Hydropower"*. A maior parte dos trabalhos foram publicadas nos *Journals*, *"Scopus (Elsevier)"*, *"Science Citation Index Expanded (Web of Science)"* e *"ScienceDirect (Elsevier)"*. Os autores mais influentes são, "Pasha, M. Fayzul K", "Smith, Brennan", "Yang, Majntxov", "Yeasmin, Dilruba" e "Arce, Maria Elena".

Enquanto que os resultados do Eixo 2, após análise, foi verificado que as palavras-chave mais frequentes contidas nos artigos são, *"Software Development"*, *"Software"* e *"Engineering"*. A maior parte dos trabalhos foram publicados nos *Journals*, *"Scopus (Elsevier)"*, *"Science Citation Index Expanded (Web of Science)"* e *"Materials Science & Engineering Database"*. Os autores mais influentes são, "Chen, Wen", "Ding, Jinfeng", "Guo, H.R", "Guo, Wenshan" e "Heydari, Atefeh".

Tabela 2 - Resultado bruto da busca sistemática

Eixo	Combinações de palavras chave	Totais
1	("hydropower" OR "hydroelectric") AND ("potential" OR "resource" OR "project") AND ("assessment")	50
2	("application" OR "system") AND ("software development")	49
Total de Resultados		99

Fonte: Do autor, 2022.

5) Filtragem - Os trabalhos de filtragem e eliminação propiciam a separação dos artigos, deixando apenas os que estejam realmente alinhados ao tema. Nesta etapa, trabalhos em duplicata, trabalhos apresentados em conferências, capítulos de livros, períodos anteriores ao definido e artigos com título e resumo não relacionados ao tema pesquisado foram eliminados. Após a eliminação dos arquivos em duplicata, restaram 45 artigos para o eixo 1 e 47 artigos para o eixo 2. O procedimento de filtragem seguinte foi a verificação quanto ao relacionamento do título, das palavras-chave e do resumo ao tema pesquisado. Resultaram 23 artigos para o eixo 1 e 25 para o eixo 2, totalizando 48 artigos para a leitura integral.

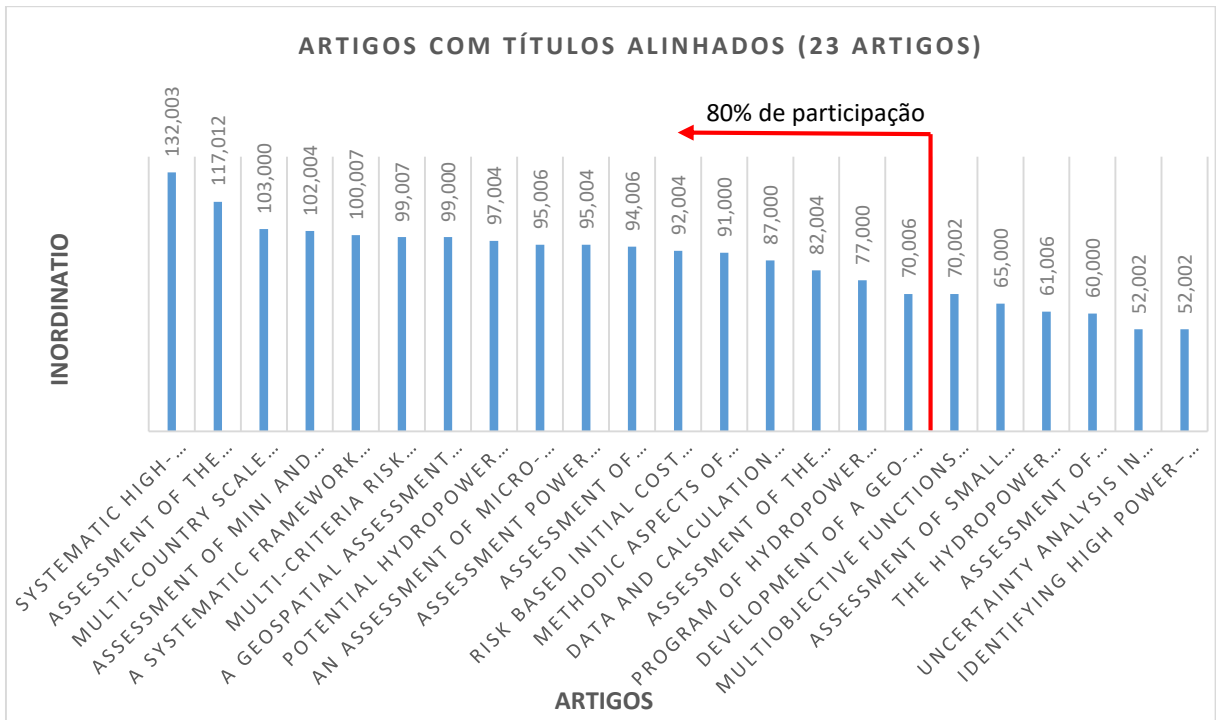
6) Fator de impacto - Primeiro, foi eliminado os artigos que continham resumos que não refletiam os objetivos desta pesquisa, em seguida, os artigos restantes foram exportados para o gerenciador de referência *JabRef* (JABREF, 2021), etapa está necessária para facilitar a exportação dos arquivos para a planilha eletrônica *Microsoft Excel*. Para verificar a quantidade de vezes que o artigo foi citado, foi feito um levantamento de citações no mecanismo virtual de pesquisa *Google Scholar* (<https://scholar.google.com.br/>). A avaliação de importância do periódico por meio do fator de impacto, foi obtida a partir do método bibliométrico *Incites Journal Citation Reports*.

7) Ordenação pela relevância científica - Para ordenação dos artigos por maior pontuação, foi usado a equação "*InOrdinatio*" (1). Nesta mesma etapa, foi criado um gráfico com os artigos ordenados pela porcentagem em relação ao valor da relevância científica e fixada uma representatividade desejada de 80%. As Figuras 2 e 3 mostram os referidos gráficos.

$$InOrdinatio = \left(\frac{FatorImpacto}{1000} \right) + (\alpha * (10 - (AnoPesquisa - AnoPublicação))) + (\Sigma Ci) \quad (1)$$

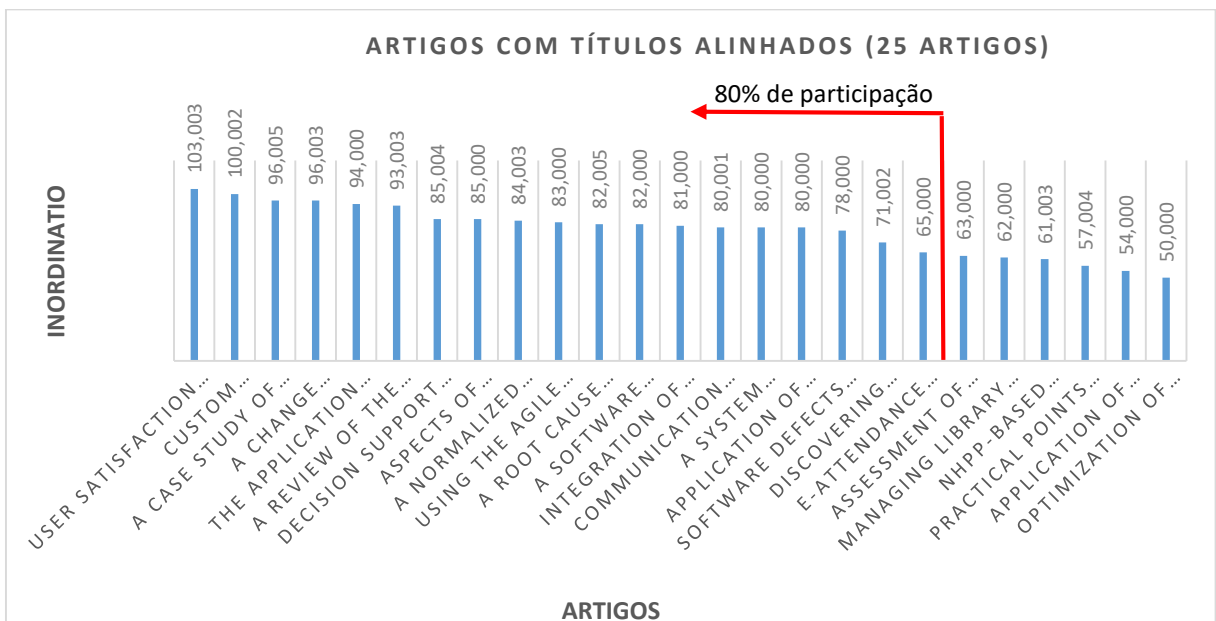
Onde: *Fator de impacto*: Avaliação da importância do periódico científico; α : Valor entre 1 e 10, 1 prioriza artigos antigos e 10 os mais recentes; *AnoPesquisa*: Ano em que a pesquisa foi desenvolvida; *AnoPublicação*: Ano em que o artigo foi publicado; e $\sum Ci$: Número de vezes que o artigo foi citado.

Figura 2 - Artigos sobre hidrelétrica com mais de 80% de representatividade



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 3 - Artigos sobre software com mais de 80% de representatividade



Fonte: Do autor, 2022.

8) Download dos Artigos – De posse da relação dos 48 artigos, foi então efetuado a busca e posteriormente baixado os documentos no formato integral, por meio do Portal de Periódicos da CAPES/MEC.

9) Leitura e análise dos artigos - Foi feito a leitura dinâmica e análise sistemática dos artigos, destacando pontos em comum com a presente pesquisa. O objetivo desta análise bibliométrica foi verificar o que está sendo estudado sobre o assunto, extrair informações de artigos qualificados internacionalmente e destacar pontos em comum com a presente pesquisa. Na sequência são destacados alguns artigos representativos dos dois eixos.

2.2.1 Eixo 1 - Energia Hidrelétrica

A avaliação do potencial hidrelétrico é obtida por meio do conhecimento da declividade e da vazão de um curso d'água, de acordo com os resultados obtidos pode-se estimar a capacidade de geração e os investimentos necessários.

Os estudos que visam estimar o potencial hidrelétrico, geralmente abrange um rio ou uma bacia hidrográfica, porém, no estudo elaborado por (HOES *et al.*, 2017), o potencial hidrelétrico teórico bruto de cada rio do mundo foi estimado, estabelecendo pontos potencialmente atraentes para construção de usinas hidrelétricas. Para esse estudo, foram usados modelos hidrológicos combinados com o Sistema de Informação Geográfica (GIS), como resultado, o potencial hidrelétrico teórico abrangendo todos os rios do planeta foi de 52 PWh/ano (Pentawatts hora por ano), distribuídos em 11,8 milhões de possíveis locais, destes, 48% localizam-se na Ásia. Atualmente a necessidade de energia mundial é um terço desse potencial teórico.

Para o contexto brasileiro, (FERREIRA *et al.*, 2016) mostram que para atrair investidores, houve a partir do ano de 1995 uma reestruturação do setor elétrico, no qual foi instituído regulamentações para influenciar o desenvolvimento das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). Devido a isso, as PCHs passaram de 303 em 2001 para 475 instalações em 2015, gerando aproximadamente 4,8 GW (Gigawatts) de energia elétrica, o que correspondeu a 3,5% de toda energia produzida no país, esse valor corresponde a 18% do potencial disponível nos rios.

A conversão da corrente das águas em movimento mecânico e posteriormente em energia elétrica não está restrito apenas aos rios, Mitrovic (2021) realizou um estudo em seis países da União Europeia (UE), sobre recuperação de energia em redes de abastecimento de água, redes de drenagem de águas residuais

e redes de irrigação, com o objetivo de mostrar o potencial de energia disponível nesses setores.

No estudo, foi estimado a recuperação de energia entre 482,3 e 821,6 GWh (Gigawatts hora), dependendo da escolha das premissas assumidas, o que representa 1,7% a 13% na redução por demanda de eletricidade nesses serviços, o que mostra o potencial dessa contribuição na eficiência energética e na redução das emissões de CO₂.

Usando o método de Ponderação Simples Aditiva (SAW) para sistemas baseados em tomada de decisão multicritério, Eshra, Zobaa e Aleem (2021), classificaram em ordem de prioridade oito locais para instalação de mini e micro hidrelétricas no Egito. As grandes hidrelétricas estão posicionadas no Rio Nilo, porém, há vários canais de irrigação no Egito onde podem ser posicionadas as hidrelétricas de pequena escala.

Os critérios para compor a matriz de decisão para uso pelo método SAW considerados no estudo, são: condição da barragem, acesso ao local, *layout* da planta, conexão à rede, aspectos ambientais e sociais, altura de queda, vazão, dias de geração e quantidade de energia gerada. Para outras matrizes, os critérios são: mapa espacial para as estruturas hidráulicas, barragens e sistema de irrigação. O Sistema de Informação Geográfica (GIS) foi usado para diferenciar espacialmente os locais de alto potencial hidrelétrico, considerando critérios técnicos, econômicos e ambientais.

No contexto atual, onde investidores estão expostos a novos modelos de negócio e diante do surgimento de diferentes formas de obter energia renovável, é razoável que empresários recorram a maneiras que apresentem uma menor implicação futura quando da avaliação de novas aquisições.

Na pesquisa realizada por (DHAUBANJAR *et al.*, 2021), é apresentado uma estrutura sistemática para avaliar hidrelétricas sustentáveis, no qual são analisados o potencial teórico, econômico e sustentável. Para os autores, um projeto dessa importância deve considerar o nexos Água-Energia-Alimentos (WEF), riscos de desastres, mudanças climáticas, proteção ambiental e aspectos socioeconômicos, as quais se forem negligenciadas podem ficar em desacordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

2.2.2 Eixo 2 - Desenvolvimento de *Software*

Para que haja um resultado satisfatório e o conseqüente sucesso de um projeto de *software*, segundo Bano, Zowghi e Rimini (2017), deve haver um engajamento mais direto do usuário ao longo dos estágios do processo de desenvolvimento. Apesar de requerer gerenciamento e planejamento cuidadoso, é crucial a comunicação com o representante dos usuários, para que o produto final seja satisfatório. No início do desenvolvimento do *software* são acordados alguns critérios, que devem ser frequentemente medidos e avaliados com a participação desse representante, facilitando a tomada de decisões, o que contribui para o sucesso do projeto.

A customização de uma plataforma de desenvolvimento de *software* proporciona resultados eficientes e confiáveis. Neste sentido, Yan *et al.* (2021) acreditam que os desenvolvedores, usando esta plataforma, podem projetar a estrutura de dados e outros parâmetros do algoritmo apenas arrastando e soltando os componentes, devendo dispensar sua preocupação somente com a lógica mestre do algoritmo. O código inserido interage com o sistema somente no momento da compilação, não havendo necessidade de atualizar os demais códigos associados. Eles concluíram que este enfoque substitui o método tradicional, evitando as modificações frequentes em toda a estrutura do *software*.

Para o desenvolvimento de um *software* ser ágil, o projetista deve empregar a mesma metodologia do Produto Mínimo Viável (MVP), onde se mantém o foco nas funções prioritárias. Os estudos de Islan e Storer (2020), exploram esse tipo de desenvolvimento em um estudo de caso, onde eles analisam o emprego do desenvolvimento ágil no contexto para sistemas de segurança crítica. O processo é baseado na revisão dos requisitos no início de cada iteração e entregas ao usuário para apreciação e correção. A filosofia de desenvolvimento de *software* ágil é compreender o problema, codificar uma parte do *software*, submeter a inspeção externas, acomodar as mudanças e repetir o processo.

Para tornar as tarefas mais produtivas e evitar o retrabalho, o projetista deve cumprir o que foi acordado e ficar atento aos prazos. A solução para isso é o gerenciamento de projetos, que é um recurso para monitoramento do projeto quanto ao seu alinhamento ao plano inicial.

Na realidade de um projeto de *software*, a gerência de projetos deve aceitar

as mudanças ao invés de evitá-la, isso faz com que as alterações sejam quantificadas e representadas, o que permite um melhor controle do andamento das tarefas. São vários os motivos de alteração do projeto inicial, como por exemplo, as características essenciais, desafios técnicos, mudanças nas necessidades do cliente, entre outras, usar um método para gerenciar as mudanças torna-se mais efetivo que tentar evitá-los (EFE; DEMIRORS, 2019).

Conforme apresentado por (MOHINO *et al.*, 2019), o objetivo do projetista é obter produtos funcionais, que consuma o mínimo de recurso possível e que atenda aos aspectos de segurança. No artigo, os autores propuseram uma metodologia que considera a segurança em todas as fases do projeto, o que facilita a detecção e a resolução de eventuais problemas prematuramente, diminuindo o custo e aumentando a qualidade do *software*. A negligência na segurança proporciona um custo adicional que incide na resolução do problema, exigindo a correção de erros, testes adicionais e comprometimento de horas de trabalho da equipe. Usando a metodologia proposta minimiza as possibilidades de vulnerabilidade, tornando o *software* mais robusto e confiável.

2.3 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foram divulgados as ferramentas computacionais e os trabalhos de autores que dedicaram atenção nos problemas envolvendo a produção de energia por meio de hidrelétricas. Conforme apresentado por esses autores, há vários níveis de dificuldades nesses empreendimentos, os quais devem ser encerrados por meio de métodos reconhecidos cientificamente, para que, não haja entraves que possam comprometer o projeto.

A contribuição da pesquisa é deixar disponível um *software*, que seguramente, causará interesse de empresas que produzem ou vendem equipamentos para hidrelétricas, o que fomentará sua contínua disponibilidade e evolução.

3 METODOLOGIA

O presente estudo é voltado para a pesquisa aplicada, onde pretende-se dar solução para um problema específico. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, esta pesquisa é experimental com validação por meio de um estudo de caso.

Como o objetivo é desenvolver um *software* que facilite o projeto de um empreendimento hidrelétrico, primeiro, deve-se estudar com detalhes as etapas do projeto de uma central hidrelétrica, segundo, deve-se estudar as etapas do projeto de um *software*, e finalmente, desenvolver uma ferramenta computacional que promova um aumento no nível de produtividade em estudos de prospecção de potenciais energéticos hidráulicos.

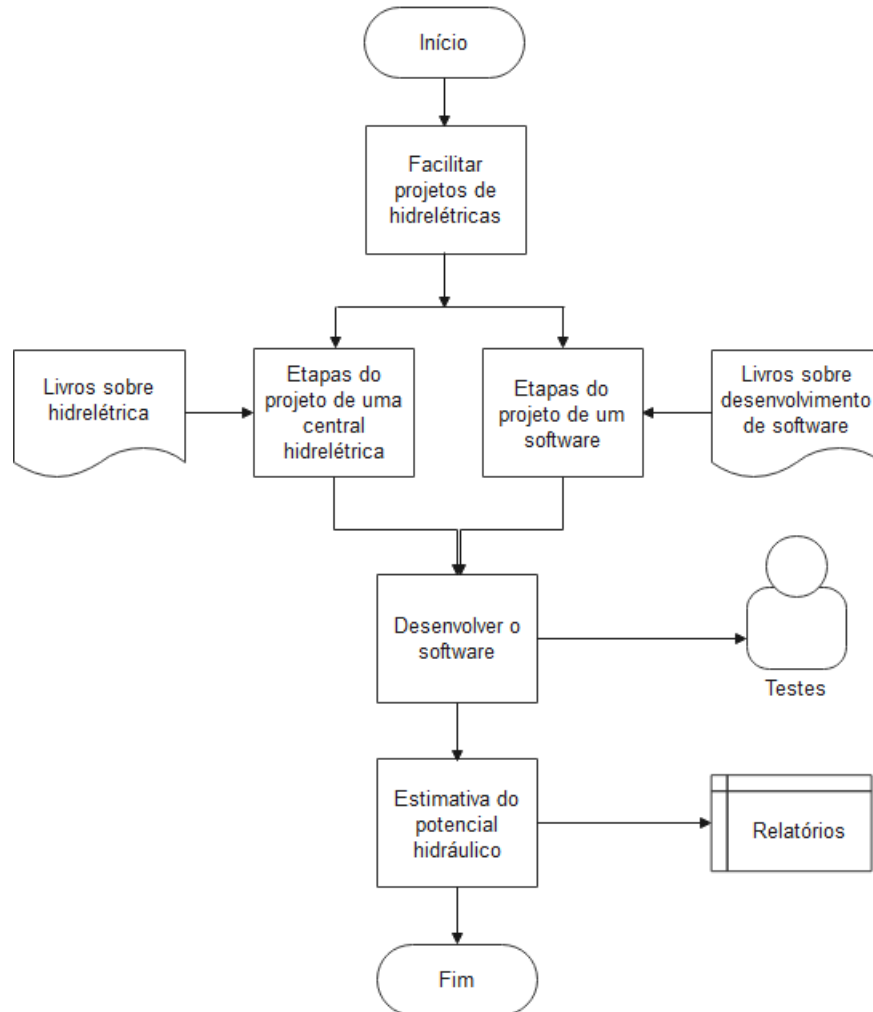
Para apoiar nos estudos, além da revisão bibliográfica vista no capítulo “Trabalhos Relacionados”, foi realizado também, a busca em publicações oficiais e livros que tratam do assunto. Primeiro, foi feita a análise do documento “Procedimentos para Dimensionamento Básico de Micro e Minicentrals Hidrelétricas”, desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) e publicado pelo Ministério das Minas e Energias (MME, 2008).

Segundo, esta pesquisa utilizará como base para as equações, o conteúdo do livro “Micro, Mini e PCHs” do autor Cleber Malta de Sá (SÁ, 2009). Para validar estas equações, foi considerado também o conteúdo do livro “Roteiro para projeto de pequenas e médias usinas hidrelétricas” do autor Hermínio Braga Pedroso (PEDROSO, 1982). Estudos complementares terão como base o conteúdo do livro “Centrais Hidrelétricas: Implantação e Comissionamento” dos autores Zulcy de Souza, Afonso Henrique e Edson da Costa (SOUZA, 2009).

Terceiro, para o projeto e modelagem do *software* será utilizado a Linguagem de Modelagem Unificada (UML). Para fundamentar este estudo, será usado os conceitos desenvolvidos pelo autor Gilleanes Guedes, no livro “UML 2 - Uma abordagem prática” (GUEDES, 2018) e pelos autores Albert Silva e Carlos Videria, no livro “UML, Metodologias e Ferramentas CASE” (DA SILVA, 2001).

O processo metodológico seguirá o apresentado no fluxograma da Figura 4, no qual são mostradas as etapas seguidas nesta dissertação.

Figura 4 - Fluxograma do processo metodológico



Fonte: Do autor, 2022.

O fluxograma é apenas uma orientação à ser seguido, mostrando que as etapas estão dispostas por prioridade, no entanto, cada uma destas etapas seguirá suas próprias particularidades.

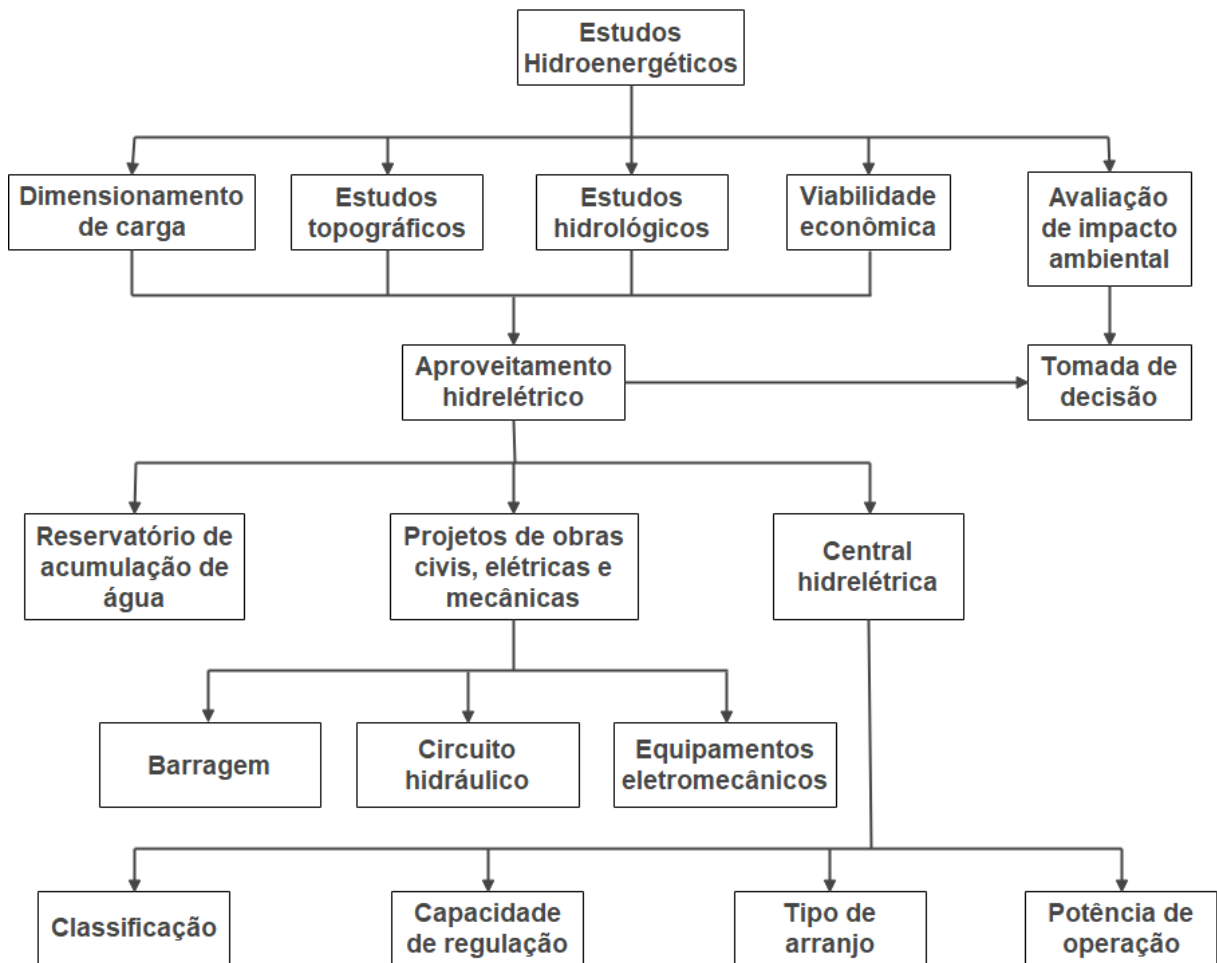
Para avaliação do software, será realizado testes usando dados de usinas hidrelétricas reais. Estes testes são necessários para verificar se o software possui o comportamento desejado, que é a comparação de cenários. Nesta comparação, é escolhido o arranjo de hidrelétrica que esteja em conformidade com os requisitos de qualidade.

Nos capítulos seguintes “Estudos Hidroenergéticos” e “Modelagem do *Software*”, são fornecidos respectivamente, uma visão mais ampla sobre conceitos teóricos para as etapas de construção de uma central hidrelétrica e conceitos sobre especificação, projeto e implementação de sistemas.

4 ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS

Nesta seção, é discutido de forma resumida os estudos hidroenergéticos, no qual são descritos os conceitos teóricos para as etapas de construção de uma central hidrelétrica. No fluxograma da Figura 5 é mostrado as etapas do processo e suas relações no contexto que está sendo desenvolvido neste trabalho.

Figura 5 - Fluxograma dos estudos hidroenergéticos



Fonte: Do autor, 2022.

Conforme é mostrado no fluxograma, primeiro é feito um estudo, onde são analisadas as características da superfície do terreno, os detalhes dos recursos hídricos superficiais, estudos para avaliar se o investimento é viável e averiguação dos impactos ambientais gerados pelo empreendimento.

Na etapa seguinte, é dimensionado as obras civis, elétricas e mecânicas. E por fim, tem-se os dados do aproveitamento hidrelétrico, como, classificação, capacidade de regulação, tipo de arranjo e potência de operação.

4.1 ESTUDOS BÁSICOS

Inicialmente, o responsável técnico pelo projeto recebe do interessado pelo empreendimento, informações a respeito de sua necessidade por energia e sobre o curso d'água. É celebrado um contrato para a execução do serviço, então, elabora-se o planejamento, no qual são definidos o roteiro e um cronograma com as principais etapas do projeto.

Ato seguinte, o profissional busca por mapas da bacia hidrográfica com curvas de nível, dados sobre o solo, subsolo, fauna, flora, clima, agricultura, comércio e indústria. Na sequência, faz uma visita técnica no local com o objetivo de verificar se há uma queda natural acentuada, boas condições de fundação, disponibilidade em quantidade adequada de jazidas naturais de areia, de terra argilosa e pedreira.

Nesta seção será analisado os tópicos que compõem o estudo básico do empreendimento.

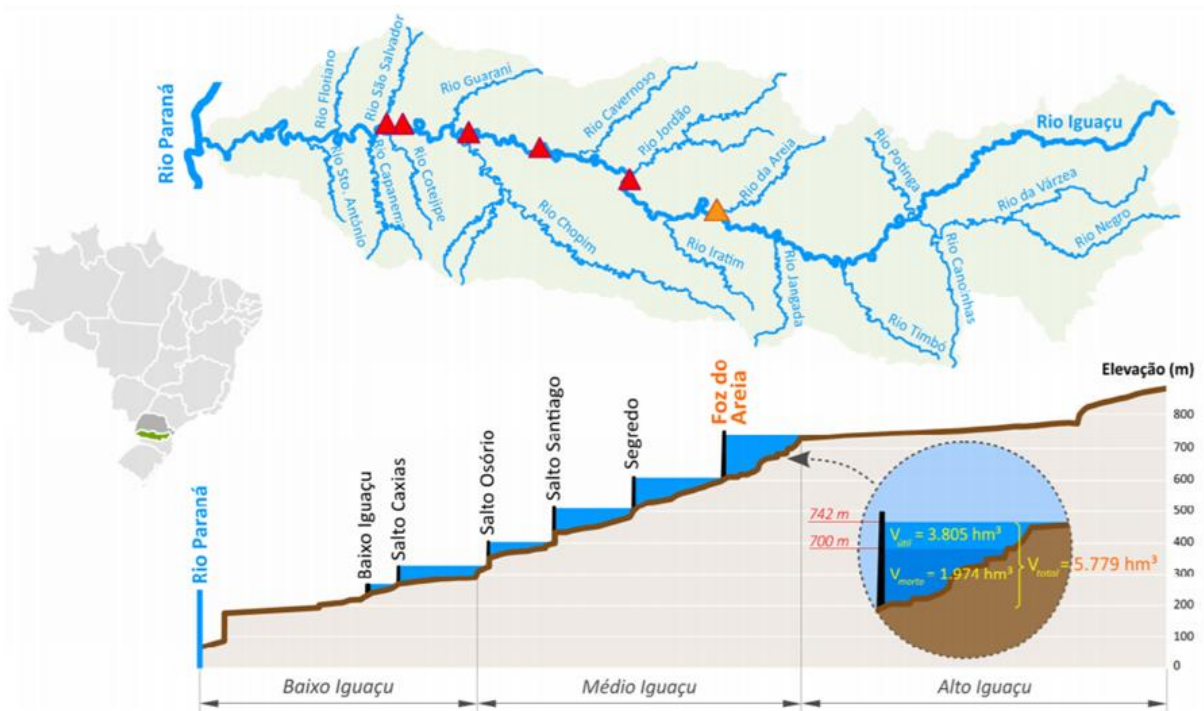
4.1.1 Aproveitamento Hidrelétrico

Na etapa preliminar são obtidos os dados referentes a identificação do aproveitamento hidrelétrico como: nome do empreendimento, nome do Rio, Bacia hidrográfica a qual pertence, área de drenagem, extensão, principais afluentes e sua localização (endereço e coordenadas geográficas).

Ao explorar o curso d'água, o responsável pelo estudo, faz uma análise preliminar dos aspectos hidrológicos, topográficos, geológicos e ambientais. Esta análise geralmente é feita por um profissional experiente, que faz observações diretamente no local. Nesta análise é indicando locais promissores com melhor relação custo de implantação, benefícios energéticos, menores conflitos de interesses nos usos da água e menores interferências socioambientais.

Para uma melhor tomada de decisão, deve ainda ser marcado vários locais em potencial para posicionar a usina hidrelétrica com seus respectivos arranjos, o que subsidiará informações sobre custos e eficiência. Havendo no mesmo rio, instaladas ou ainda em projeto de outras usinas hidrelétricas, deve ser montado um esquema de como ficarão dispostos esses empreendimentos ao longo do curso d'água usando a divisão de quedas. A Figura 6 mostra um exemplo de divisão de quedas no Rio Iguaçu.

Figura 6 - Divisão de quedas no Rio Iguaçu



Fonte: Paulek, 2018.

O estabelecimento da divisão de quedas, otimiza a bacia hidrográfica na formação dos reservatórios para um melhor aproveitamento hidrelétrico.

4.1.2 Classificação das Hidrelétricas

A classificação das hidrelétricas é definida pela ANEEL, a qual estabeleceu nas Resoluções Normativas nº 875, de 10 mar. 2020 (ANEEL, 2020) e nº 687, de 24 nov. 2015 (ANEEL, 2015), os requisitos e procedimentos necessários à geração e distribuição de energia elétrica. De acordo com estas normativas as hidrelétricas são enquadradas conforme é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Enquadramento das hidrelétricas

Classificação	Faixa de Operação
Microgeração distribuída	$\leq 75 \text{ kW}$
Minigeração distribuída	$> 75 \text{ kW} \leq 3 \text{ MW}$
Central Geradora Hidrelétrica (CGH)	$\leq 5 \text{ MW}$
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	$> 5 \text{ MW} \leq 30 \text{ MW}$ (área de reservatório $< 13 \text{ km}^2$)
Usina Hidrelétrica (UHE)	$> 5 \text{ MW} \leq 50 \text{ MW}$, exceto PCH
Usina Hidrelétrica (UHE)	$> 50 \text{ MW}$

Fonte: ANEEL, 2020.

Esta classificação por faixa de operação entre as hidrelétricas envolve a quantidade de residências que podem ser atendidas, o tamanho do curso d'água que será explorado, os trabalhos de engenharia envolvidos, material necessário para a obra, investimento financeiro e impactos ambientais.

4.1.3 Capacidade de Regulação

Quanto a capacidade de regulação, as usinas hidrelétricas podem ser de (i) acumulação com regulação diária do reservatório - Fio d'água; (ii) acumulação com regulação mensal do reservatório; (iii) acumulação com regulação anual do reservatório; ou (iv) reversível. Um resumo com as principais características destas usinas é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Regime operativo dos reservatórios

Regime Operativo	Funcionamento	Características
Fio d'água	Vazões afluentes, mantém o nível dos reservatórios	Sofre variação na geração
Reservatório de acumulação	O nível do reservatório pode variar de acordo com a maior ou menor necessidade de geração de energia	Geração constante
Reversível	Permite o armazenamento energético em períodos de baixo consumo e restituindo em períodos de elevado consumo	Bombeamento de água para o reservatório elevado durante consumo reduzido

Fonte: Do autor, 2022.

As usinas a Fio d'água dependem do fluxo de água do rio para o aproveitamento hidrelétrico e podem ou não possuírem reservatórios, este tipo de regulação possui a vantagem de causar o menor impacto no ambiente. Na acumulação com regulação, dependendo do tamanho do reservatório, a regulação pode ser mensal ou anual. As hidrelétricas reversíveis possuem um sistema de bombeamento de água, que em períodos de menor consumo, bombeiam a água para o reservatório elevado e nos períodos de maior consumo faz uso dessa água.

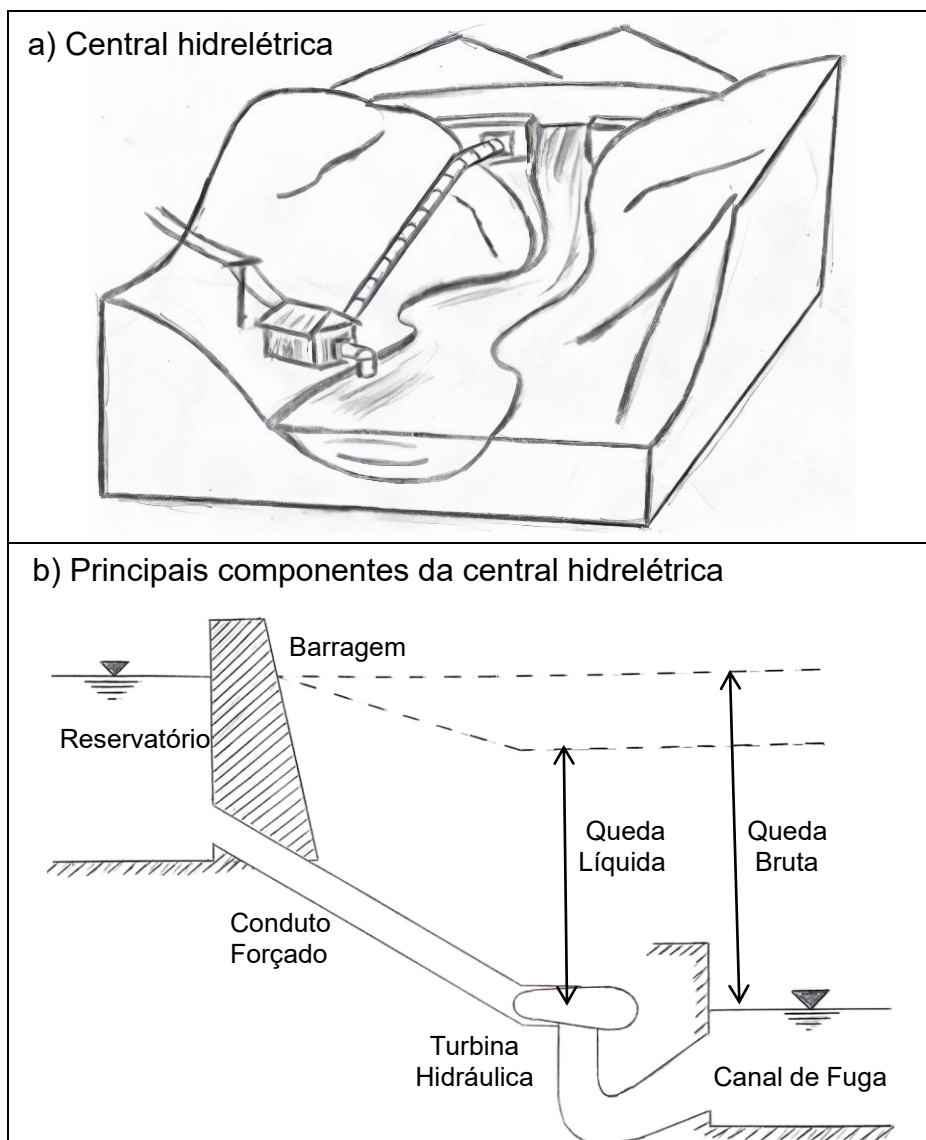
4.2 ARRANJOS DAS ESTRUTURAS

A instalação de uma central hidrelétrica varia entre locais planos ou montanhosos, o que pode promover tanto facilidades como dificuldades em sua

construção. O projetista deve escolher o local que proporcione menor custo e maior eficiência, com uma inclinação longitudinal que proporcione uma menor distância entre a tomada de água e a casa de máquinas. Os tipos de arranjo são (i) represamento com conduto forçado direto; (ii) desvio com canal livre, câmara de carga e conduto forçado; e (iii) derivação com conduto de baixa pressão, chaminé de equilíbrio e conduto forçado.

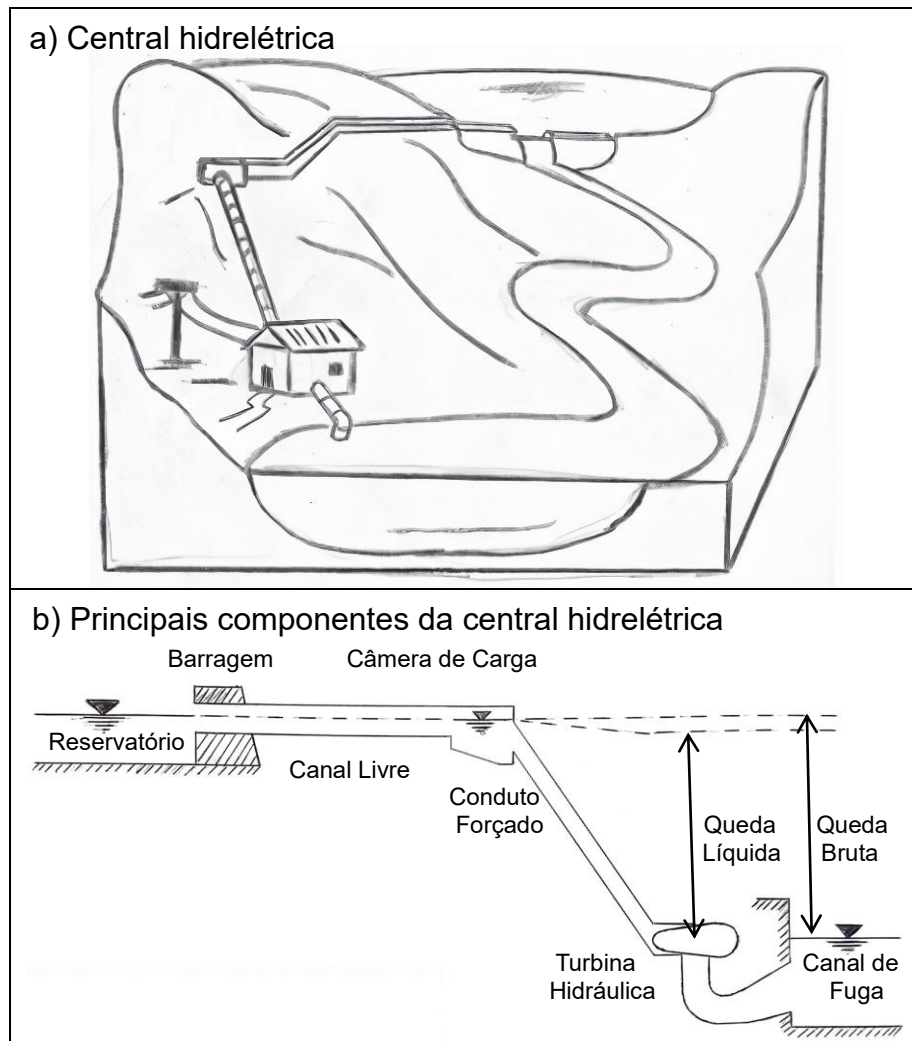
O arranjo proposto para a hidrelétrica vai revelar quais estruturas serão necessárias para serem instaladas no empreendimento. As Figuras 7-9 mostram os arranjos normalmente escolhidos levando em consideração a topografia do local.

Figura 7 - Central Hidrelétrica de Represamento



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 8 - Central Hidrelétrica de Desvio



Fonte: Do autor, 2022.

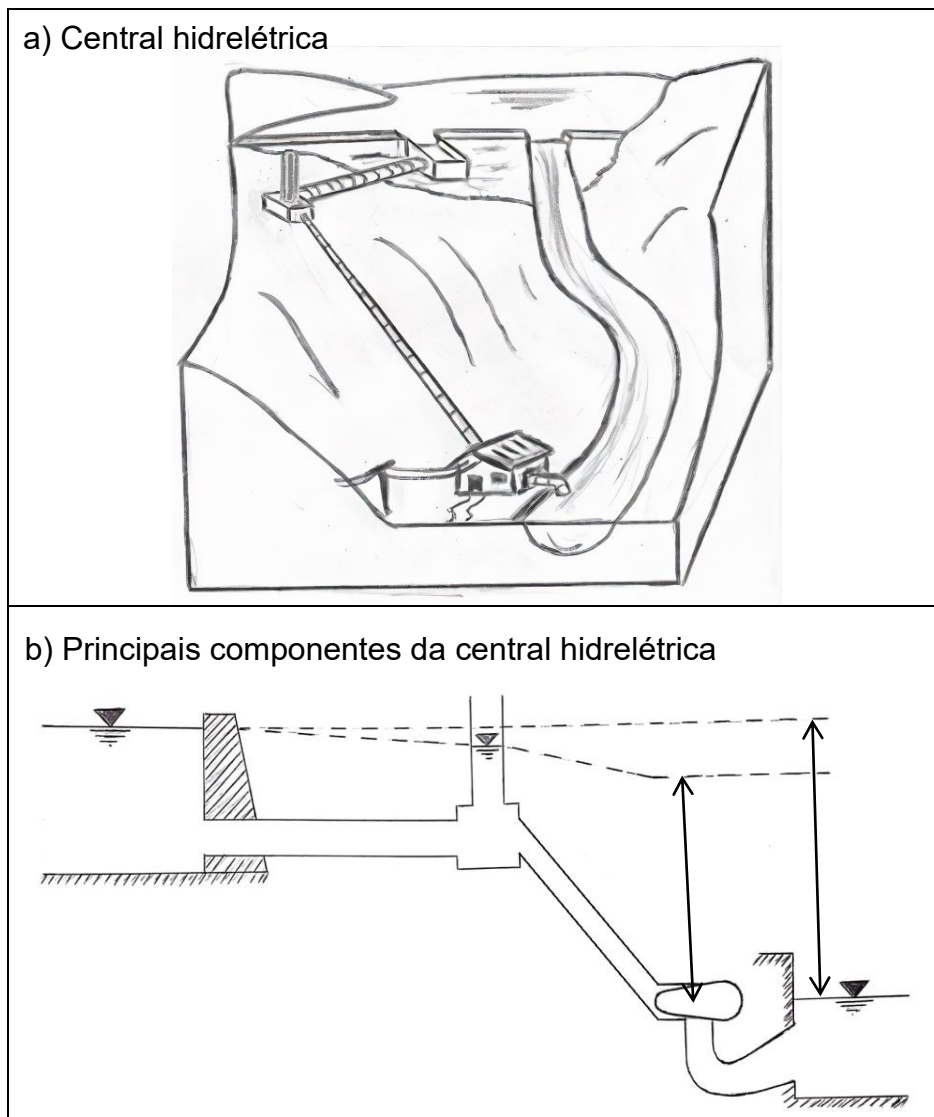
Na Figura 7 é mostrado um empreendimento para hidrelétricas de represamento, com tomada de água alta e conduto direto, é ideal para desnível acentuado, Casa de força próximo da barragem, proporcionando um arranjo compacto.

Na Figura 8, o arranjo é para hidrelétricas de desvio, no qual a tomada de água é feita em um ponto do rio e o canal de fuga é em outro ponto do mesmo rio, é ideal para desnível médio ou baixo, casa de força longe da barragem, com uso de canal livre e câmara de carga.

Já na Figura 9, o arranjo é para hidrelétricas de derivação, no qual a tomada de água é feita em um rio e o canal de fuga em outro, é ideal para desnível acentuado ou médio, casa de força longe da barragem, com uso de conduto de baixa pressão e chaminé de equilíbrio.

Os arranjos de desvio e derivação diferenciam-se do represamento por acrescentarem conduto de baixa pressão ou canal livre, estes sistemas por gerarem transientes hidráulicos, é necessário serem combinados com uma chaminé de equilíbrio ou câmara de carga.

Figura 9 - Central Hidrelétrica de Derivação



Fonte: Do autor, 2022.

Para a escolha do tipo de arranjo, faz-se a relação entre a distância da tomada de água e sua restituição ao leito natural e a altura bruta: (i) $L/H_b \geq 4$ = sistema de baixa pressão (Central Hidrelétrica de Desvio); (ii) $L/H_b \leq 1,3$ = sistema de alta pressão (Central Hidrelétrica de Represamento); e (iii) $1,3 < L/H_b < 4$ = fatores técnicos e econômicos definirá o arranjo (Represamento ou Desvio). O resultado mostrará o tipo de arranjo mais adequado (SOUZA, 2009):

4.3 EQUIPAMENTOS ELETROMECAÂNICOS

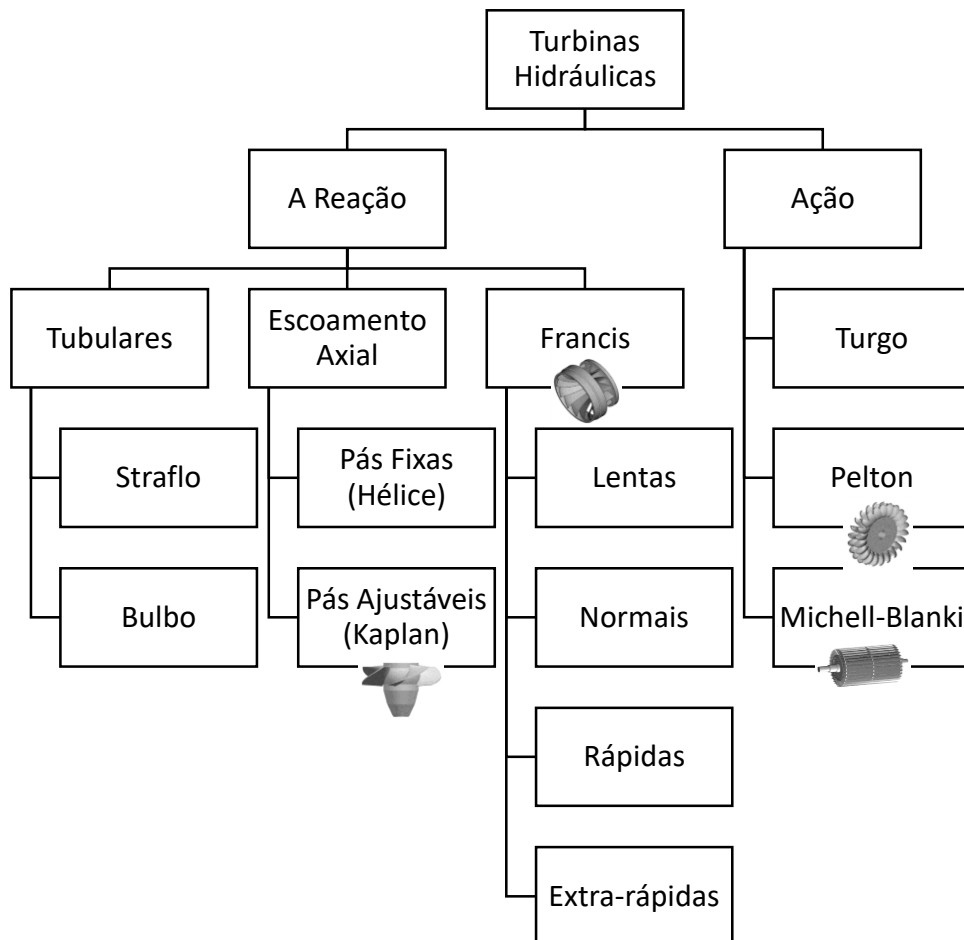
Equipamentos eletromecânicos, unem máquinas elétricas e mecânicas em um mesmo dispositivo para executarem um trabalho. Em uma central hidrelétrica as turbinas hidráulicas e os hidrogeradores são unidos por um eixo, os quais convertem a energia hidráulica proveniente da água dos rios em energia elétrica.

4.3.1 Turbina Hidráulica

A turbina hidráulica é o equipamento responsável pela conversão da energia hídrica em energia mecânica. A especificação da turbina leva em consideração a vazão máxima turbinada, o rendimento, a potência nominal no eixo, a rotação nominal, a velocidade específica e o número de unidades necessárias.

As turbinas são classificadas em reação e ação, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Classificação das turbinas

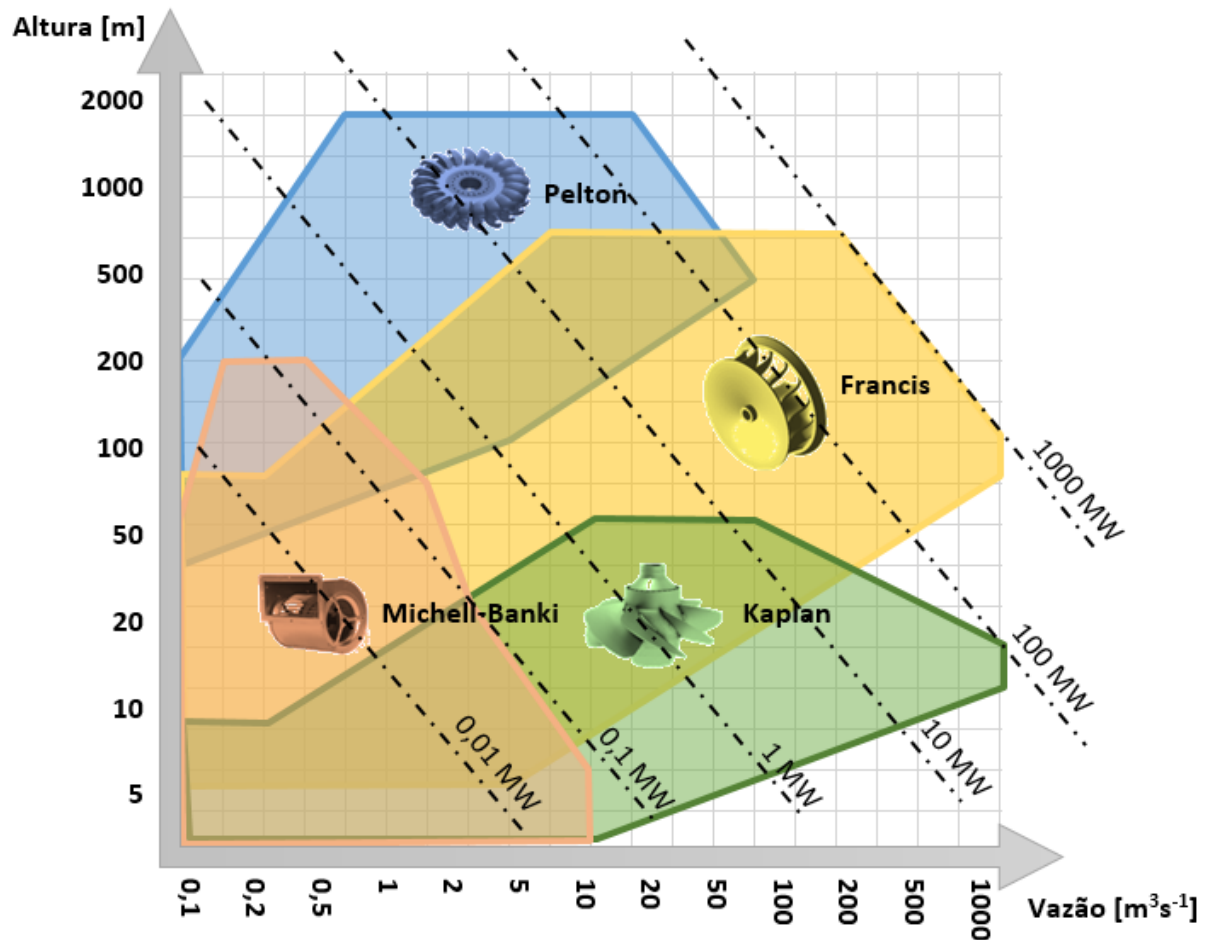


Fonte: Do autor, 2022.

As turbinas de reação promovem uma redução da pressão estática quando passa pelo rotor, enquanto nas turbinas de ação a pressão estática permanece constante. Para pequenas vazões e grandes quedas as turbinas do tipo Pelton são as ideais, enquanto as turbinas do tipo Kaplan trabalham melhor em grandes vazões e pequenas quedas, um meio termo entre estes dois tipos de turbina estão as turbinas Francis.

O Gráfico 1 ilustra a aplicação das turbinas hidráulicas, no qual leva em consideração a altura de queda e a vazão.

Gráfico 1 - Aplicação de turbinas hidráulicas



Fonte: Do autor, baseado em Henn, 2006.

Para escolher a turbina hidráulica, são utilizadas as equações (2-8) e Tabela 5.

Peso específico da água:

$$\gamma_a = \rho_a * g = 9.780,57 \left[\frac{N}{m^3} \right] \quad (2)$$

Potência turbinável: $P_{tb} = \gamma_a * Q_t * H_l * \eta_t [W]$ (3)

Potência em Cavalo-vapor [cv]: $P_{t_{cv}} = \frac{P_{tb}}{735,5} [cv]$ (4)

Velocidade nominal do gerador: $n = 60 * \frac{f}{p} [rpm]$ (5)

Velocidade específica [cv]: $n_s = n * \frac{\sqrt{P_{t_{cv}}}}{H_l^{\frac{5}{4}}} [\text{adimensional}]$ (6)

Trabalho específico: $Y = g * H_l \left[\frac{J}{kg} \right]$ (7)

Onde: ρ_a : Massa específica da água = 997 [kg m⁻³]; g : Aceleração da gravidade = 9,81 [m s⁻²]; Q_t : Vazão turbinável = Q_{max} [m³ s⁻¹]; H_l : Altura de queda líquida [m]; η_t : Rendimento mecânica do eixo da turbina; p : Número de pares de pólos do gerador; e f : Frequência elétrica no Brasil = 60 [Hz].

A velocidade específica (n_{qa}) é uma grandeza adimensional e depende da vazão, a partir dela é definido a configuração e formato do rotor. Para esta equação adaptar-se a Máquina de Fluxo (MF) com múltiplos injetores e rotores, ela deve sofrer alterações conforme mostra a equação (8).

Velocidade específica [rpm]: $n_{qa} = \frac{n}{60} * \frac{\left(\frac{Q_t}{I}\right)^{1/2}}{\left(\frac{Y}{N}\right)^{3/4}} * 10^3 [rpm]$ (8)

Onde: I : Número de injetores; e N : Número de rotores (estágios).

Os valores da altura de queda líquida e da velocidade específica, indicam qual a melhor opção de turbina hidráulica que deve ser instalada. A Tabela 5 mostra o campo de aplicação dessas turbinas.

Tabela 5 - Campo de aplicação dos diversos tipos de turbinas

Tipos de turbinas		N_{ga} [rpm]	H [m]
Pelton	1 jato	18	800
	1 jato	18-25	800-400
	1 jato	26-35	400-100
	2 jatos	26-35	800-400
	2 jatos	36-50	400-100
	4 jatos	40-50	400-100
	4 jatos	51-71	500-200
	6 jatos	72-90	400-100
Francis	Muito lenta	55-70	600-200
	Lenta	71-120	200-100
	Normal	121-200	100-70
	Rápida (ou Deriaz)	201-300	70-25
	Extra rápida	301-450	25-15
Propoller, Kaplan, Bulbo, Tubulares ou "Straflo"	8 pás	250-320	70-50
	7 pás	321-430	50-40
	6 pás	431-530	40-30
	5 pás	534-620	30-20
	4 pás	624 em diante	30

Fonte: Macintyre, 1983.

4.3.2 Gerador Elétrico

Há diversos tipos de máquinas elétricas rotativas que podem ser utilizadas como gerador de energia elétrica, cada uma com suas características particulares e otimizadas para a função a qual foi criada. As máquinas elétricas rotativas, de acordo com sua forma construtiva podem ser de pólos internos ou externos, quanto a operação, podem ser de corrente contínua ou alternada e quanto sua finalidade, são usados como motor ou gerador.

A máquina elétrica, quando usada como motor, converte energia elétrica em mecânica e quando usada como gerador, converte a energia mecânica em elétrica. Os geradores, da mesma maneira que os motores, de acordo com o tipo de rotação, são classificados em síncronos e assíncronos, nos modelos síncronos a frequência das tensões está em sincronia com a velocidade de rotação do eixo, enquanto os modelos assíncronos a velocidade do rotor é menor que o campo girante.

Os geradores síncronos, podem ter o campo magnético produzido no rotor por uma bobina com excitatriz ou possuírem ímãs permanente, no caso dos geradores assíncronos o rotor pode ser em curto-circuito ou bobinado. Os geradores assíncronos de rotor bobinado é constituído por um enrolamento trifásico ligado a um reóstato, por meio de anéis coletores e escova, enquanto o rotor em curto-circuito dispensa o uso desses anéis.

Nos geradores síncronos, o uso de ímãs permanentes é recomendado somente para cargas que exigem pouca tensão, para tensões maiores é necessário eletroímã.

Na conversão da rotação mecânica em energia elétrica, o gerador síncrono pode ter seu acionamento realizado por turbinas hidráulicas de baixa velocidade ou por turbinas a gás de alta velocidade. Na utilização em alta velocidade é indicado rotores de pólos cilíndricos, de pequena circunferência, grande comprimento axial e poucos pólos. Para utilização em baixa velocidade é indicado o uso de rotores de pólos salientes, com grande circunferência, pequeno comprimento axial e vários pólos.

O gerador síncrono é o mais usado em centrais hidrelétricas, pois, independente da carga que está alimentando, trabalha em velocidade constante e frequência de corrente alternada fixa. Levando em consideração a eficiência elétrica do gerador, tem-se a potência elétrica obtida por meio das equações (9-14).

$$\text{Potência elétrica do gerador:} \quad P_{gd} = P_{tb} * \eta_g [W] \quad (9)$$

$$\text{Potência aparente:} \quad S_{kVA} = \frac{P_{gd}}{1000 * \cos \varphi} [kVA] \quad (10)$$

$$\text{Potência ativa:} \quad P_{kW} = S_{kVA} * \cos \varphi [kW] \quad (11)$$

$$\text{Potência reativa:} \quad Q_{kvar} = S_{kVA} * \sin \varphi [kvar] \quad (12)$$

$$\text{Fator de potência:} \quad FP = \frac{P_{kW}}{S_{kVA}} \quad (13)$$

$$\text{Ângulo:} \quad \varphi = \cos^{-1}(FP) \quad (14)$$

Onde: P_{tb} : Potência turbinável [W]; η_g : Rendimento do gerador elétrico = 0,95; e $\cos(\varphi)$: Fator de potência = 0,80.

A potência total, é definida como a soma das potências individuais das unidades geradoras, conforme as equações (15 e 16).

$$\text{Número de grupos geradores :} \quad n > f_i * \frac{Q_p}{Q_{min}} \quad (15)$$

$$\text{Potência turbinável total:} \quad P_{tt} = \sum_1^n (P_{tb})_n [W] \quad (16)$$

Onde: f_i : Fração da vazão inferior turbinada [%]; Q_p : Vazão de projeto [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]; e Q_{min} : Vazão mínima histórica [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$].

A fração da vazão inferior turbinada (f_i), é um percentual de horas anuais admissível em que a turbina pode operar abaixo da especificada, sem que ocorra cavitação.

4.3.3 Eficiência da Turbina e do Gerador

Na Tabela 6 são apresentados os valores típicos da eficiência da turbina e do gerador em função da potência.

Tabela 6 - Eficiência típica de turbinas e geradores

Potência [kW]	Eficiência da Turbina	Eficiência do Gerador
Até 10	0,75	0,90
10 a 50	0,82	0,90
50 a 100	0,85	0,92
100 a 500	0,87	0,92
500 a 1000	0,90	0,94

Fonte: MME, 2008.

4.3.4 Energia Anual Gerada

Com os dados dos níveis de queda d'água e perdas hidráulicas, o próximo passo é estimar a potência instalada e a energia anual gerada a ser instalada no aproveitamento. Para obter estes valores, primeiro deve-se conhecer os fatores de disponibilidade e capacidade.

O fator de disponibilidade, equação (17), é um índice usado para medir as perdas por paradas planejadas ou não.

$$\text{Fator de disponibilidade:} \quad FD = (1 - T_{EIF}) * (1 - T_{EIP})[\%] \quad (17)$$

Onde: T_{EIF} : Taxa equivalente de indisponibilidade forçada [%]; e T_{EIP} : Taxa equivalente de indisponibilidade programada [%].

A Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (T_{EIF}) representa o tempo em que a central hidrelétrica fica parada para manutenções não programadas. A Taxa Equivalente de Indisponibilidade Programada (T_{EIP}) representa as paradas programadas. O valor típico para o fator de disponibilidade é entre 0,91 e 0,94. Valores inferiores podem sugerir a reabilitação da central hidrelétrica.

O fator de capacidade, equação (18), é um importante critério de verificação

da viabilidade técnica e econômica, mede em termos de porcentagem a razão entre a potência turbinável média do ano (realmente produzida) e a potência instalada (potência nominal da hidrelétrica).

$$\text{Fator de capacidade:} \quad FC = \frac{P_{tb}}{P_i} [\%] \quad (18)$$

Onde: P_{tb} : Potência turbinável [W]; e P_i : Potência instalada [W].

A energia gerada durante o ano é obtida com a equação (19):

$$\text{Energia anual gerada:} \quad EAG = \frac{P_{tb} * FC * FD * \Delta t}{1000000} [\text{MW ano}^{-1}] \quad (19)$$

Onde: P_{tb} : Potência turbinável [W]; FC : Fator de capacidade [%]; FD : Fator de disponibilidade [%]; e Δt : Número de horas no período (1 ano), 24 horas *365 dias = 8760.

4.4 TOMADA DE DECISÃO

A seleção de um projeto envolve a comparação entre várias alternativas, cada uma com suas vantagens e desvantagens, porém, espera-se que a escolha recaia em um investimento com o maior retorno financeiro. Nesta seção será analisado o método de análise pela tabela de decisão, para a escolha do melhor tipo da central hidrelétrica.

4.4.1 Tabela de decisão

Tabela de Decisão, é uma ferramenta que ajuda a identificar as combinações possíveis em um conjunto de regras inter-relacionadas. Nesta tabela, as linhas contêm as condições e nas colunas as regras. O conjunto de condições devem ser testadas, para que, determinada ação possa ser executada. Para cobrir todas as possibilidades, deve-se multiplicar os números de possibilidades de cada condição (POMPILHO, 1994).

A escolha do tipo turbina de uma estação geradora de energia, requer o teste de um conjunto de condições, que de acordo com as regras de decisão, a mais indicada é sugerida. O Quadro 2 mostra um exemplo de Tabela de Decisão, a qual tem como requisitos, dados obtidos da Tabela 5, conforme discriminado abaixo.

Requisitos: As turbinas possuem “Velocidade específica”. (i) Quando a

“Velocidade específica” está entre 18 e 90, a mensagem "Tipo de turbina = Pelton" é apresentada. (ii) Quando a “Velocidade específica” está entre 55 e 450, a mensagem "Tipo de turbina = Francis" é apresentada. (iii) Quando a “Velocidade específica” está acima de 250, a mensagem "Tipo de turbina = Kaplan" é apresentada.

Quadro 2 - Exemplo de Tabela de Decisão

		Regras							
Condições	Possibilidades	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
C1 – Velocidade específica: >18 e <90	S = sim N = não	S	S	S	S	N	N	N	N
C2 – Velocidade específica: >55 e <450	S = sim N = não	S	S	N	N	S	S	N	N
C3 – Velocidade específica: >250	S = sim N = não	S	N	S	N	S	N	S	N
Ações									
A1 – Tipo de turbina: Pelton	- ou X	-	-	-	X	-	-	-	-
A2 – Tipo de turbina: Francis	- ou X	-	-	-	-	-	X	-	-
A3 – Tipo de turbina: Kaplan	- ou X	-	-	-	-	-	-	X	-

Fonte: Do autor, 2022.

Neste exemplo são três condições, com duas possibilidades cada, então, $2^3 = 8$. Um total de oito regras são necessárias para cobrir todas as possibilidades.

4.5 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foi abordado os passos para o dimensionamento de uma central hidrelétrica. Devido ao fato do objetivo deste estudo ser o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para facilitar o projeto de uma central hidrelétrica, foi dado maior importância aos cálculos que envolve as etapas de estimação do potencial energético, arranjos das estruturas e tomada de decisão. As demais etapas foram citadas para contextualização, mostrando que a construção de um empreendimento desse porte envolve diversas áreas do conhecimento.

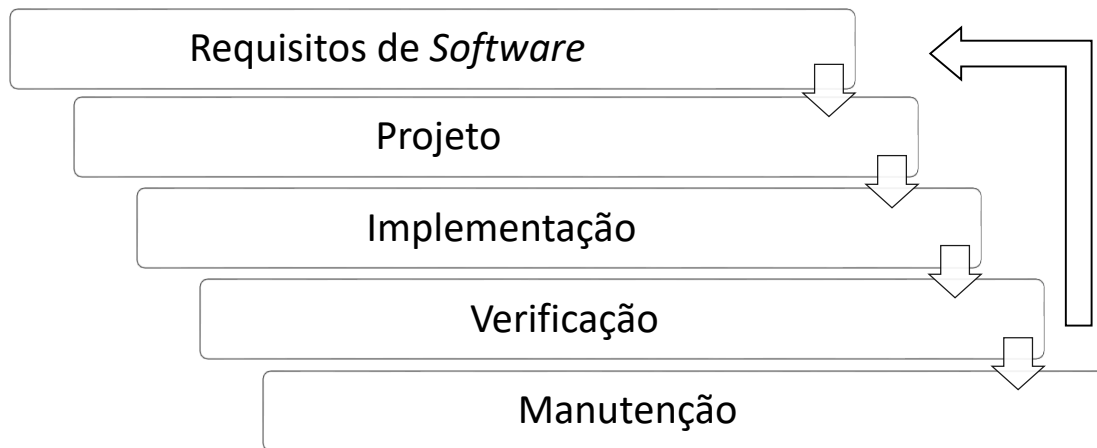
5 MODELAGEM DO SOFTWARE

Nesta seção, é abordado os princípios da Engenharia de *Software*, especialmente, conceitos sobre modelagem de *software*.

A modelagem é uma maneira de representar a realidade de forma simples, a qual utiliza notações gráficas para exprimir a essência do sistema, já o produto do *software*, são um conjunto de instruções interpretadas pelo computador para executar tarefas específicas. Para o desenvolvimento mais eficiente do *software* proposto, será usado os princípios da Engenharia de *Software*, o que proporcionará um melhor entendimento dos requisitos, uma melhor adaptação as novas tecnologias de implementação e menores custos de manutenção.

Para a etapa de modelagem do *software* será adotado o modelo clássico, o qual fornece uma sequência de atividades, que é executada de maneira interativa e incremental, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Ciclo de vida clássico



Fonte: Do autor, 2022.

Durante a análise de requisitos do *software*, obtém-se uma compreensão do domínio da informação e suas funcionalidades. Na etapa de projeto é definido a estrutura de dados, arquitetura do *software*, detalhes procedimentais e caracterização da interface. Na implementação, o projeto é codificado usando uma linguagem de programação. Na verificação, são feitos os testes para descobrir e reparar erros. Na manutenção o *software* é analisado, com o objetivo de acomodar possíveis adaptações e evoluções (PRESSMAN, 1995).

Para a modelagem, será usado a Linguagem de Modelagem Unificada

(UML). Por ser uma linguagem que usa notação gráfica, facilita o entendimento das funcionalidades que o *software* deve ter, proporciona uma visão ampla do sistema e é empregada em diversas tarefas envolvendo o projeto de *software*.

Para a implementação, será usado os conceitos da Programação Orientada a Objetos (POO), por sua praticidade para se programar e a possibilidade de reaproveitamento do código. A ferramenta computacional escolhida como modelador será o BOUML (<https://www.bouml.fr/>), que é compatível com os diagramas padrão UML 2.x. A linguagem de programação *Python* será usada para codificação, por ser uma linguagem de alto nível e suportar a POO.

5.1 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

É a fase de análise de alto nível, onde se tem uma compreensão do que deve ser construído. Geralmente os requisitos são obtidos em reuniões com as partes interessadas, tendo como produto um documento, contendo uma lista de requisitos funcionais e não funcionais que o *software* deve ter.

5.2 ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS

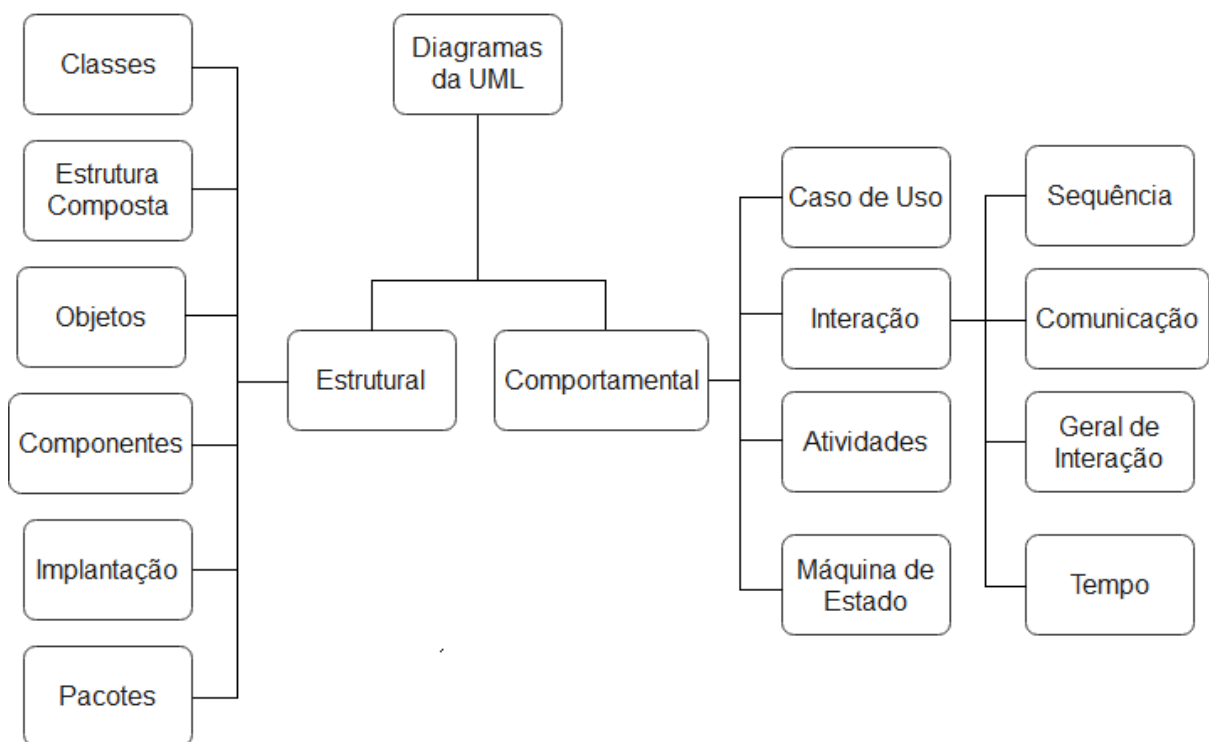
É uma maneira de entender o domínio do problema, que usa diagramas, para descrever como os requisitos do sistema serão satisfeitos por meio de seus componentes e relacionamentos.

A orientação a objetos está apoiada nos seguintes princípios: (i) **Encapsulamento**: Ocultação de informações, os dados são acessíveis somente por métodos próprios do objeto. Oculta detalhes de um objeto, disponibilizando operações apenas por meio de sua interface; (ii) **Herança**: Princípio que permite que classes compartilhem atributos e métodos por meio de heranças. É a partilha, acréscimo ou redefinição de atributos e operações pelas subclasses. É a maneira de uma superclasse se especializar; (iii) **Polimorfismo**: Princípio no qual um mesmo método comporta-se diferentemente em classes distintas. Faz com que objetos diferentes respondam de forma diferente a mesma mensagem; e (iv) **Abstração**: São classes, das quais os objetos nunca são instanciados diretamente, mas sempre por uma classe descendente dela, essas classes definem a parte genérica da funcionalidade que é compartilhada pelas classes derivadas. É ocultar características não essenciais, evitando com isso uma complexidade desnecessária.

5.3 DIAGRAMAS UML

Na UML, os diagramas permitem montar de forma visual e compreensível os processos de negócios que serão implementados em um sistema de *software*. Os diagramas, pelo fato de um complementar o outro, permitem uma melhor compreensão dos diversos aspectos envolvendo o sistema, evitando-se com isso que determinada funcionalidade seja deixada de lado. Os diagramas são divididos em Estruturais e Comportamentais, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Diagrama da UML



Fonte: Do autor, baseado em Guedes (2018).

5.4 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo é mostrado como o *software* proposto será modelado. Para isto, optou-se por usar os princípios da Engenharia de *Software*, a linguagem de modelagem UML e os conceitos de POO, por apresentarem uma notação bem documentada e atual.

6 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O processo de desenvolvimento de uma ferramenta computacional, concebida para melhorar o desempenho de tarefas, envolve um conjunto de atividades voltadas a sua modelagem e implementação. Nos capítulos sobre estudos hidroenergéticos e modelagem do *software*, foram apresentados de maneira ampla os conceitos que envolvem esses assuntos, neste capítulo, os conceitos serão aplicados para a solução do problema.

6.1 MODELAGEM

Modelagem, é a representação do modelo que ilustra o comportamento de um sistema, facilita a análise e expõe as funcionalidades desejáveis. Para servir de guia no processo de desenvolvimento do *software* de prospecção de hidrelétricas, neste trabalho, será usado a Linguagem de Modelagem Unificada (UML).

Ao decidir construir uma central hidrelétrica, os empreendedores montam um modelo de negócio, no qual expõem os produtos e serviços que irão fornecer, o seu público-alvo e suas fontes de receita. O serviço prestado por uma central hidrelétrica é o despacho de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN).

Para uma central hidrelétrica ser construída, os seguintes aspectos são tratados pela equipe técnica: (i) necessidade de aumentar a oferta energética; (ii) escolha da bacia hidrográfica de interesse; (iii) estimativa do potencial hidrelétrico em locais selecionados; (iv) estudos de inventário da bacia hidrográfica; (v) estudos de viabilidade do aproveitamento hidrelétrico; (vi) estudos hidroenergéticos; (vii) projeto básico; (viii) projeto executivo; (ix) construção; e (x) término da obra.

6.1.1 Finalidade, Escopo e Usuários

O *software* proposto, terá a finalidade de auxiliar o projetista nas tarefas de dimensionamento de um aproveitamento hidrelétrico. O projetista registrará dados sobre as características do local de construção e os atributos desejáveis do empreendimento, permitindo obter relatórios, que subsidiará a decisão sobre prosseguir ou não no projeto.

A parte administrativa do *software* abrange as etapas: (i) contato com o proponente; (ii) coleta de dados preliminares; (iii) levantamento complementar em campo; (iv) estudos hidroenergéticos; (v) apresentação das alternativas de arranjo ao

proponente; e (vi) escolha da melhor solução.

O escopo do *software* é nos estudos hidroenergéticos, etapa que sucede os estudos de viabilidade, no qual identifica o aproveitamento na divisão de queda e precede o projeto básico, etapa em que há um detalhamento das obras civis, com definição de equipamentos, estudos ambientais e orçamentários.

Nos estudos hidroenergéticos, as especificações técnicas de uma central hidrelétrica, vêm de dados de um estudo de viabilidade, que após tratado convenientemente, é feito o dimensionamento do circuito hidráulico de geração, o resultado então permite prover com informações o projeto básico. As etapas de estudos de inventário da bacia hidrográfica, estudos de impacto ambiental, estudos de viabilidade, projeto básico, projeto executivo e viabilidade econômica, não farão parte do sistema proposto.

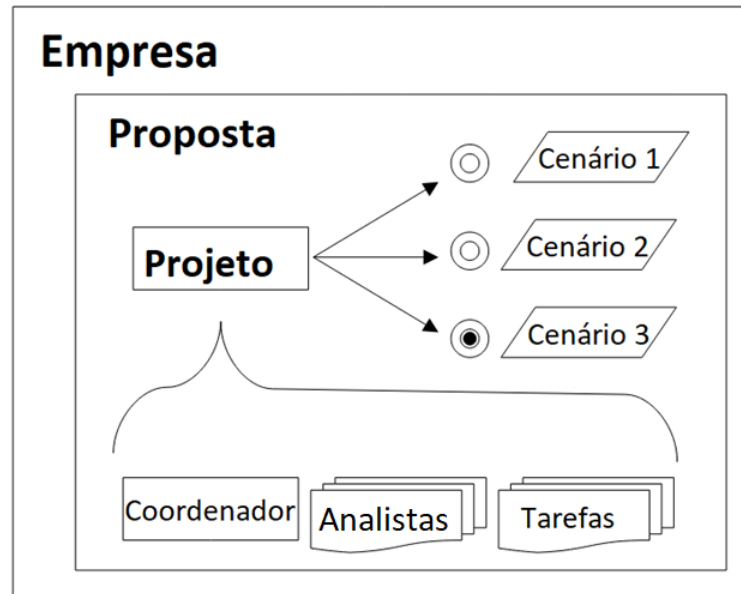
Para obter uma resposta satisfatória, o usuário deve ter em mãos o máximo de dados sobre o curso d'água e valores atuais de equipamentos eletromecânicos. Nesta primeira versão do sistema, questões ambientais não influenciarão de forma direta nos resultados.

Os usuários do *software* serão os engenheiros, técnicos e empreendedores que desejam projetar e construir uma central hidrelétrica em pequenos cursos d'água.

6.1.2 Arquitetura da solução

Conforme é observado na Figura 13, uma empresa se responsabiliza em examinar propostas de aproveitamentos hidrelétricos, cada proposta pode evoluir para um projeto. O projeto pode ter um ou vários cenários possíveis, o que for mais promissor é levado adiante. Então, é alocado um coordenador e alguns analistas para atuarem nas diversas tarefas presentes no projeto.

Figura 13 - Arquitetura da solução

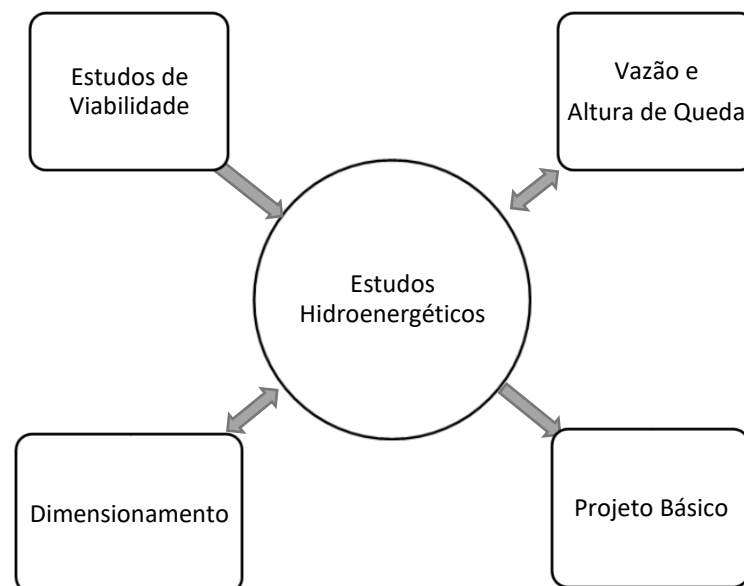


Fonte: Do autor, 2022.

6.1.3 Diagrama de contexto

A interface entre o *software* e as entidades externas segue o diagrama de contexto ilustrado na Figura 14. Neste diagrama é representado o objeto de estudo como um único processo, com fluxos de dados entrando a partir dos estudos de viabilidade e saindo para o projeto básico. A interação do usuário com o sistema é durante a variação da vazão e decisões referentes ao dimensionamento.

Figura 14 - Diagrama de Contexto



Fonte: Do autor, 2022.

Os dados de entrada para o sistema são: (i) informações sobre o local; (ii) características da topográfica do local; (iii) características do curso d'água; (iv) série histórica de vazões; e (v) conhecimento das especificações e valores de equipamentos disponíveis no mercado.

Com esses dados, refinamentos sucessivos podem ser avaliados, para então escolher o melhor arranjo. A informação obtida do sistema são: (i) sugestão de tipo, potência e quantidade de turbina hidráulica; (ii) sugestão de tipo de arranjo com melhor custo-benefício; (iii) perdas de carga no circuito hidráulico de geração; (iv) rendimento médio do conjunto turbina-geração; e (v) potência instalada e geração anual da usina; e (vi) relatório com informações necessárias para dar continuidade no estudo.

6.1.4 Diagrama de estrutura

Da mesma maneira que existem configurações diferentes de cursos d'água, há também, vários arranjos diferentes para se posicionar uma central hidrelétrica. No entanto, as estruturas básicas de um aproveitamento hidrelétrico é o mesmo, o que torna um empreendimento único é a locação destas estruturas, de forma que obtenha a melhor eficiência na conversão de energia. Esta eficiência deve estar alinhada com outras variáveis, como por exemplo, custo econômico, área alagada e segurança. Em instalações típicas de centrais hidrelétricas, as estruturas são constituídas pelos elementos mostrados no Quadro 3:

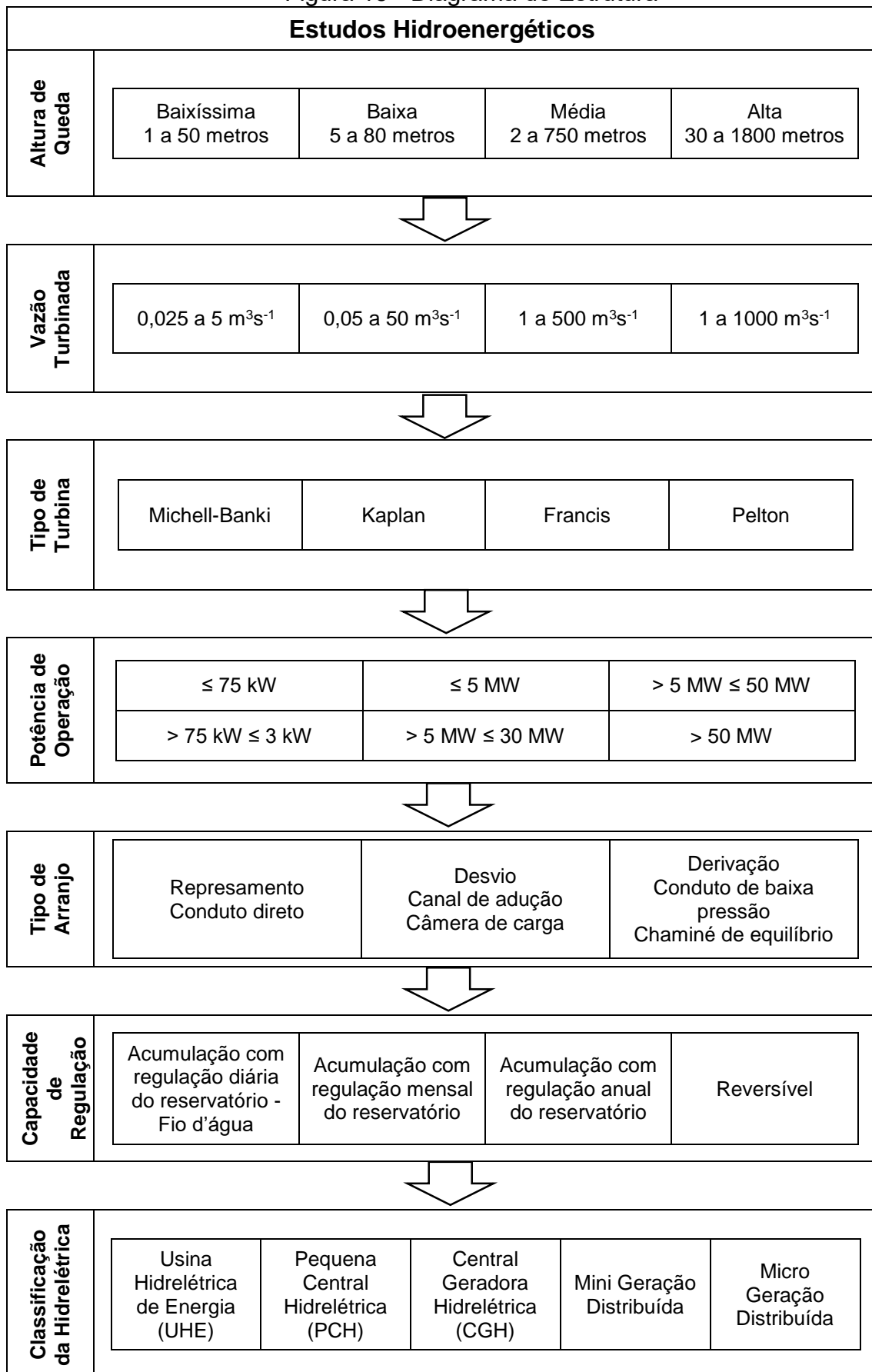
Quadro 3 - Estruturas típicas de centrais hidrelétricas

Nº	Estrutura	Descrição
1	Reservatório de regularização	Armazenamento de água à montante da barragem. Atributos: volume, extensão e área.
2	Barragem	Estrutura para conter a água do reservatório. Atributos: comprimento da barragem e o tipo, que pode ser: de terra, enrocamento ou de concreto.
3	Vertedouro	Estrutura para escoar o excesso de água de um reservatório. Atributos: pode ser de borda livre ou canal, e capacidade de vazão.
4	Tomada d'Água	Estrutura para captar a água que será conduzida às turbinas. Atributos: distância entre eixos e o comprimento total.
5	Circuito de Adução	Conduto de baixa pressão ou canal, liga a tomada d'água até a câmara de carga. Atributos: material, comprimento, área de seção transversal, vazão, velocidade e declive.
6	Desarenador	Utilizado para a retenção de areia e sólidos finos abrasivos presentes no afluente.
7	Câmara de Carga	Estrutura que abastece o conduto forçado e alivia o golpe de aríete.
8	Chaminé de Equilíbrio	Reservatório de eixo vertical, serve para evitar transitório hidráulicos.
9	Conduto Forçado	Conduz a água sob pressão até as turbinas. Atributos: quantidade, material, comprimento, diâmetro interno e descarga nominal.
10	Casa de Máquinas	Tem a finalidade de abrigar os equipamentos eletromecânicos da hidrelétrica.
11	Turbina Hidráulica	Equipamento mecânico que converte a energia hídrica em energia mecânica. Atributos: tipo de turbina, quantidade, potência, velocidade de projeto e queda líquida de projeto.
12	Hidrogerador	Equipamento elétrico que transforma a rotação mecânica em energia elétrica. Atributos: quantidade, frequência, potência nominal, tensão nominal, número de polos, momento de inércia e fator de potência.
13	Quadro de Comando	Compartimento composto por circuitos elétricos, disjuntores, contadores e relé de proteção térmica.
14	Canal de Fuga	Fica a jusante do tubo de sucção, devolve a água utilizada ao leito natural do rio.

Fonte: Do autor, 2022.

O Diagrama de Estrutura ilustrada na Figura 15, mostra de forma hierárquica os passos para a escolha de estruturas ou equipamentos de uma central hidrelétrica. Após escolhido um item entre as alternativas possíveis de uma linha, segue para a etapa seguinte, por último, é definido a classificação da hidrelétrica.

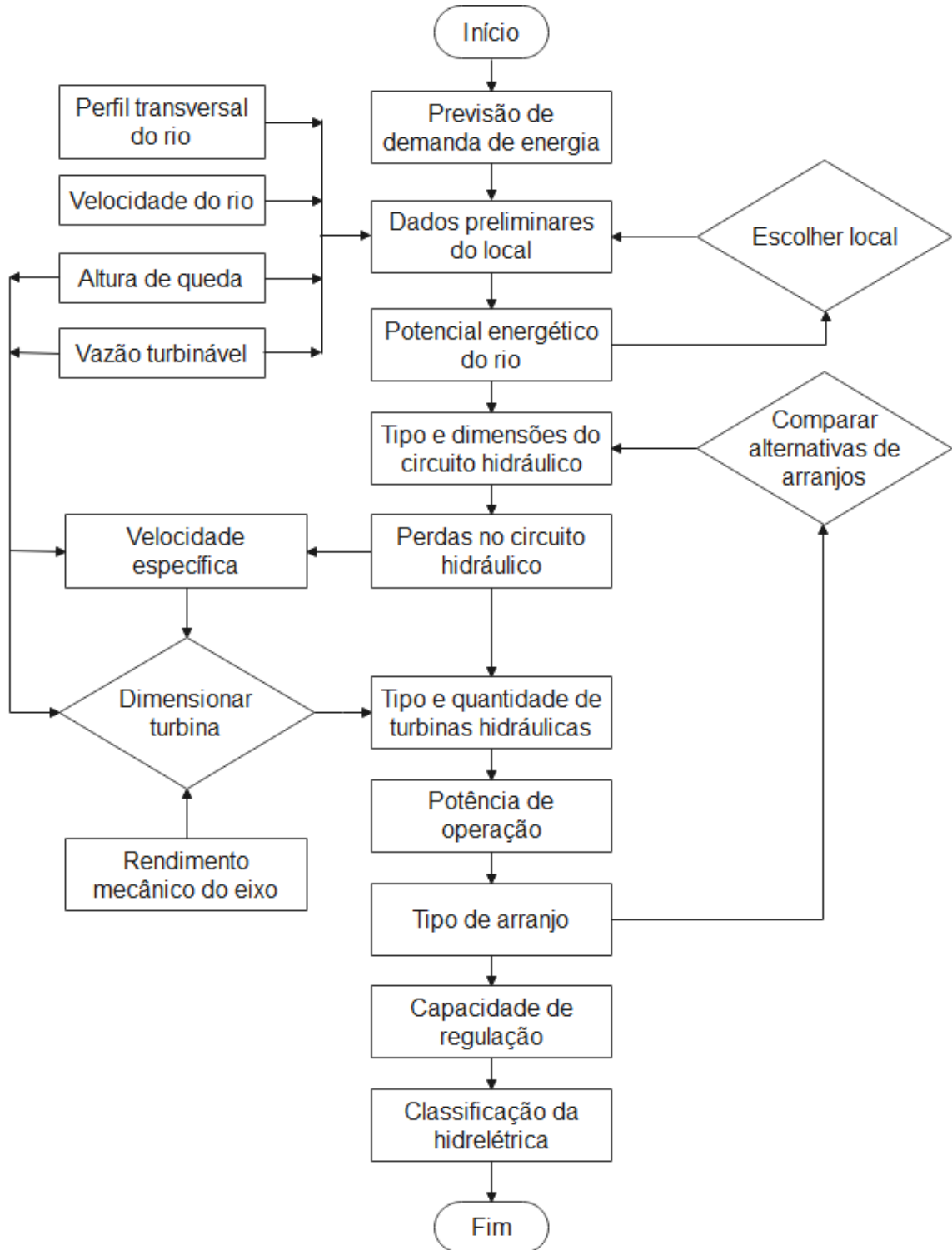
Figura 15 - Diagrama de Estrutura



Fonte: Do autor, 2022.

O fluxo do processo, mostrado na Figura 16 na forma de fluxograma, descreve as etapas e a ordem entre as alternativas disponíveis, para o dimensionamento de uma central hidrelétrica.

Figura 16 - Fluxograma do processo de dimensionamento



6.1.5 Tabela de decisão

Esta é uma etapa fundamental para obtenção das principais funcionalidades do sistema. Com o auxílio da Tabela de Decisão, é possível identificar as ações que devem ser executadas a partir das condições estabelecidas.

Para validar esta técnica, foi usado dados da Usina Hidrelétrica de Marimbondo, obtidos da EPE (2022). A usina pertence a Furnas Centrais Elétricas, está localizada no rio Grande, na bacia do rio Paraná, entre os municípios de Içém (SP) e Fronteira (MG).

Com base nas equações apresentadas no capítulo “Estudos Hidroenergéticos” e dados da Usina Hidrelétrica de Marimbondo, foi montado a Tabela de Decisão, que é mostrada no Quadro 4.

Quadro 4 - Tabela de Decisão

Condições	Expressões	Regras															
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
Nome Usina Hidrelétrica: Marimbondo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reservatório de regularização - Área [m ²]:	438.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Volume [m ³]:	5.279.360.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nível da água de montante [m]:	445,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nível da água de jusante [m]:	387,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Altura de queda (H) [m]:	58,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1a - Altura de queda - 1 a 50 [m]:	Sim ou Não	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N
- 51 a 80 [m]:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N
- 81 a 750 [m]:	Sim ou Não	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N
- 751 a 1800 [m]:	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Área da seção transversal do rio [m ²]:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Velocidade da corrente do rio [ms ⁻¹]:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vazão de projeto (vertida+turbina) [m ³ s ⁻¹]:	23.800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Descarga máxima do vertedouro [m ³ s ⁻¹]:	21.400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Engolimento total [m ³ s ⁻¹]:	2.400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Circuito de Adução - Comprimento (L) [m]:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Área de seção transversal [m ²]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Vazão [m ³]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Relação distância circuito hidráulico e a altura bruta (L/H):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdas no circuito hidráulico [%]:	98,50%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras perdas [%]:	71,70%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vazão afluente [m ³ s ⁻¹]:	1.695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quantidade de turbinas:	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vazão turbinável unitária [m ³ s ⁻¹]:	212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1b - Vazão turbinável - 0,025 a 5 [m ³ s ⁻¹]:	Sim ou Não	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N
- 6 a 50 [m ³ s ⁻¹]:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N
- 51 a 500 [m ³ s ⁻¹]:	Sim ou Não	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N
- 501 a 1000 [m ³ s ⁻¹]:	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Frequência elétrica no Brasil (f) [Hz]:	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Número de pares de pólos do gerador (p):	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Número de injetores (I):	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Número de rotores (estágios) (N):	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Velocidade específica (n _{qs}) [rpm]:	1.239,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1c - Velocidade específica - 18 a 30 [rpm]:	Sim ou Não	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N
- 31 a 55 [rpm]:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N
- 56 a 450 [rpm]:	Sim ou Não	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N
- 451 a 800 [rpm]:	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
C2 - Capacidade de regulação - Acumulação com regulação mensal do reservatório:	Sim ou Não	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N
- Acumulação com regulação anual do reservatório:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N
- Acumulação com regulação diária do reservatório:	Sim ou Não	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N	N
- Bombeamento de água para o reservatório elevado:	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
C3a - Captação - Captação com conduto direto:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
- Captação em um ponto e restituição em outro ponto do mesmo rio	Sim ou Não	S	S	N	N	S	S	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
- Captação em um rio e restituição em outro	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-
C3b - Desnível - Desnível acentuado:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
- Desnível médio ou baixo	Sim ou Não	S	S	N	N	S	S	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
- Desnível acentuado ou médio	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-
C3c - Casa de força - Casa de força próximo da barragem:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
- Casa de força longe da barragem e canal longo	Sim ou Não	S	S	N	N	S	S	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
- Casa de força longe da barragem e conduto longo	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-
C3d - Relação L/Hb - Relação distância circuito hidráulico e a altura bruta: L/Hb <= 1,3	Sim ou Não	S	S	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Relação distância circuito hidráulico e a altura bruta: L/Hb >= 4	Sim ou Não	S	N	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendimento turbina-gerador [%]:	92,50%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa de consumo próprio [%]:	95,50%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendimento [%]:	87,01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa equivalente de indisponibilidade forçada [%]:	5,958%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taxa equivalente de indisponibilidade programada [%]:	4,046%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fator de Disponibilidade [%]:	90,24%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potência Instalada (outorgada) [MW]:	1.440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peso específico da água [Nm ⁻³]:	9.780,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potência Turbinável [MW]:	845,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C4 - Potência Turbinável - ≤ 75 [kW]:	Sim ou Não	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N
- > 75 [kW] e ≤ 3 [MW]:	Sim ou Não	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N
- ≤ 5 [MW]:	Sim ou Não	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S	N	N
- > 5 [MW]:	Sim ou Não	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Potência unitária da turbinável [MW]:	105,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fator de capacidade (Energia turbinável) [%]:	65,09%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δt - Número de horas no ano [h]:	8.760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energia anual gerada [MW/ano]:	4.821.927,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nível de tensão de conexão - Alta Tensão (+ 69 kV e 138 kV para transmissão):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ações		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
A1 - Tipo de turbina hidráulica - Pelton (30 a 1800 [m], 0,05 a 50 [m ³ s ⁻¹] e 18 a 90 [rpm]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Francis (2 a 750 [m], 1 a 500 [m ³ s ⁻¹] e 55 a 450 [rpm]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	-
- Kaplan (5 a 80 [m], 1 a 1000 [m ³ s ⁻¹] e 250 a 800 [rpm]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Michell-Banki (1 a 50 [m], 0,025 a 5 [m ³ s ⁻¹] e 30 a 210 [rpm]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2 - Capacidade de regulação - Geração constante (mensal):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Geração constante (anual):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
- Sofre variação na geração (Fio d'água):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Reversível:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3 - Tipo de arranjo - Represamento (C. direto, D. acentuado, CF próximo e L/Hb <= 1,3):	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Desvio (C. em ponto, D. baixo, Canal longo e L/Hb >= 4):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Derivação (C. em um rio, D. médio, Conduto longo e L/Hb >= 4):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A4 - Classificação da hidrelétrica - Micro Geração Distribuída (≤ 75 [kW]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Mini Geração Distribuída (> 75 kW e ≤ 3 [MW]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Central Geradora Hidrelétrica (≤ 5 [MW]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Pequena Central Hidrelétrica e Usina Hidrelétrica (> 5 [MW]):	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-

Fonte: Do autor, 2022.

Este exemplo mostra como os dados podem ser trabalhados para obtenção da informação desejada.

6.1.6 Especificação de Requisitos

As especificações dos requisitos estão divididas em funcionais e não funcionais, os requisitos funcionais aparecem das necessidades das partes interessadas e tem o objetivo de validar o produto. Para este projeto o sistema deve atender aos seguintes requisitos funcionais:

- 1) Para avaliação do potencial energético em pequenos cursos d'água, é necessário determinar os intervalos de valores da potência hidráulica, da vazão e da altura de queda, que atendam ao porte do corpo d'água;
- 2) O *software* deve usar o sistema internacional como unidade fundamental de medida;
- 3) Desenhos devem ser mostrados para facilitar o entendimento e auxiliar na inserção de dados; e
- 4) O sistema deve apresentar como relatório final, uma sugestão de cenário de arranjo hidrelétrico, que seja otimizado para o trecho do curso d'água escolhido para construir o empreendimento hidrelétrico.

Os requisitos não funcionais, são aqueles que não fazem parte das regras de negócios, mas que são fundamentais para o desempenho e atributos de qualidade. Para este projeto o sistema deve atender os seguintes requisitos não funcionais:

- 1) O sistema deve ser acessado *online*, com isso, o usuário não terá preocupação com questões referentes a instalação, manutenção e atualização, também, retirará sua preocupação com assuntos referentes a compatibilidade do sistema com a plataforma onde é executado;
- 2) A inserção de valores deve apresentar limites dentro de critérios aceitáveis e quando possível oferecer sugestões;
- 3) Para a segurança do sistema, o acesso será por meio de autenticação por senha e registros em arquivos de *log*.
- 4) Como medida de segurança, somente usuários com permissão podem ter acesso a determinados módulos dentro do sistema; e
- 5) Deve ser acessado de maneira igual nos navegadores, *Microsoft Edge*, *Mozilla Firefox* e *Google Chrome*.

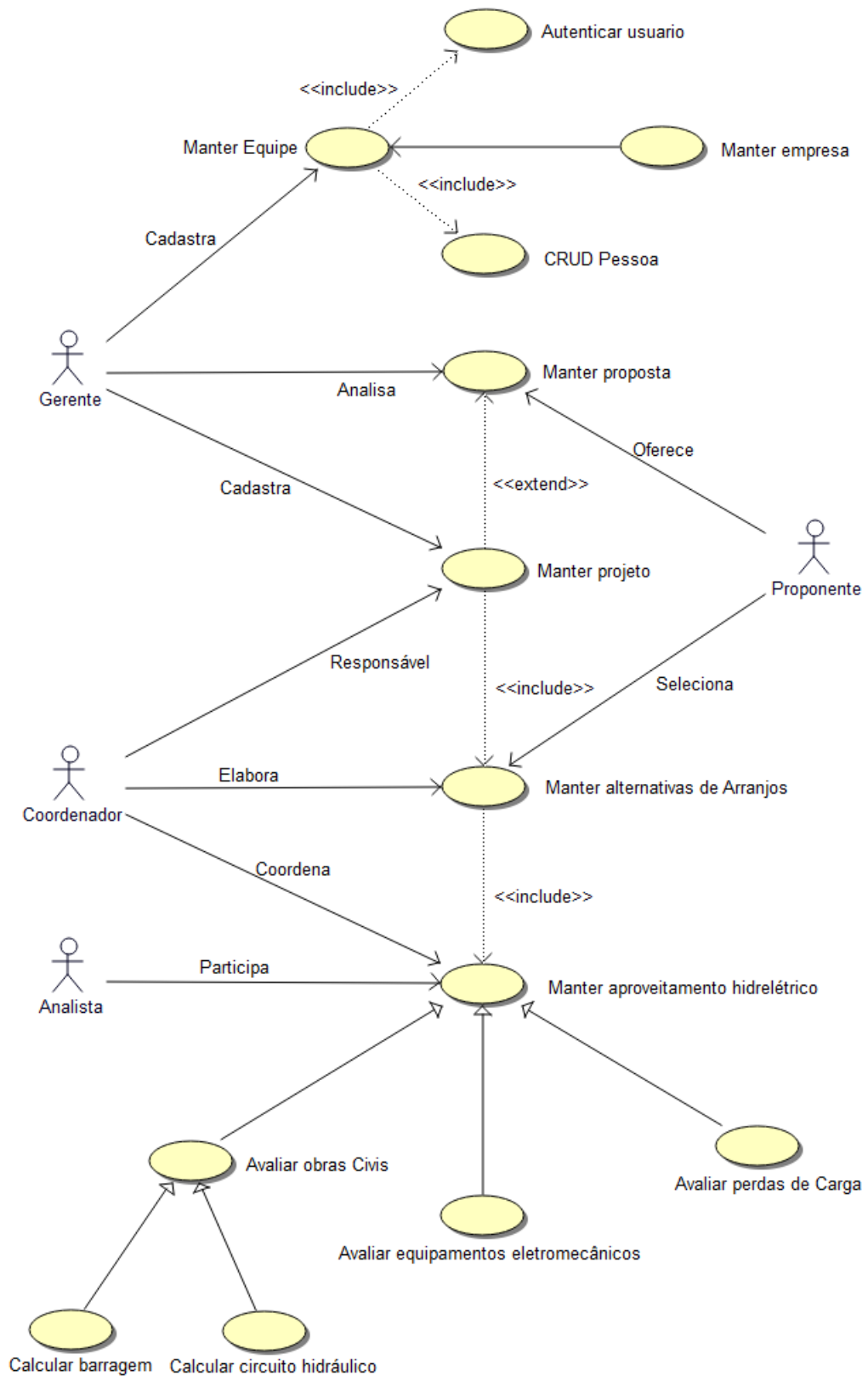
6.1.7 Caso de Uso - Geral

A interação dos usuários com o sistema é representado no diagrama de caso de uso módulo geral, ilustrada na Figura 17. Já na Figura 18 é ilustrada o diagrama de classes módulo geral, onde é mostrado os relacionamentos entre as classes do sistema.

No diagrama de caso de uso, a representação das associações entre atores (bonecos) e casos de uso (elipse) ocorre por meio de linhas contínuas, o relacionamento de inclusão (*include*) e extensão (*extend*) é representado com linhas tracejadas e o relacionamento de herança é representado com linha contínua com um triângulo na ponta, apontando da subclasse para a sua classe mãe. O caso de uso “CRUD” significa as quatro operações básicas para manipulação de dados, acrônimos de *Create* (Inserir), *Read* (Consultar), *Update* (Editar) e *Delete* (Excluir).

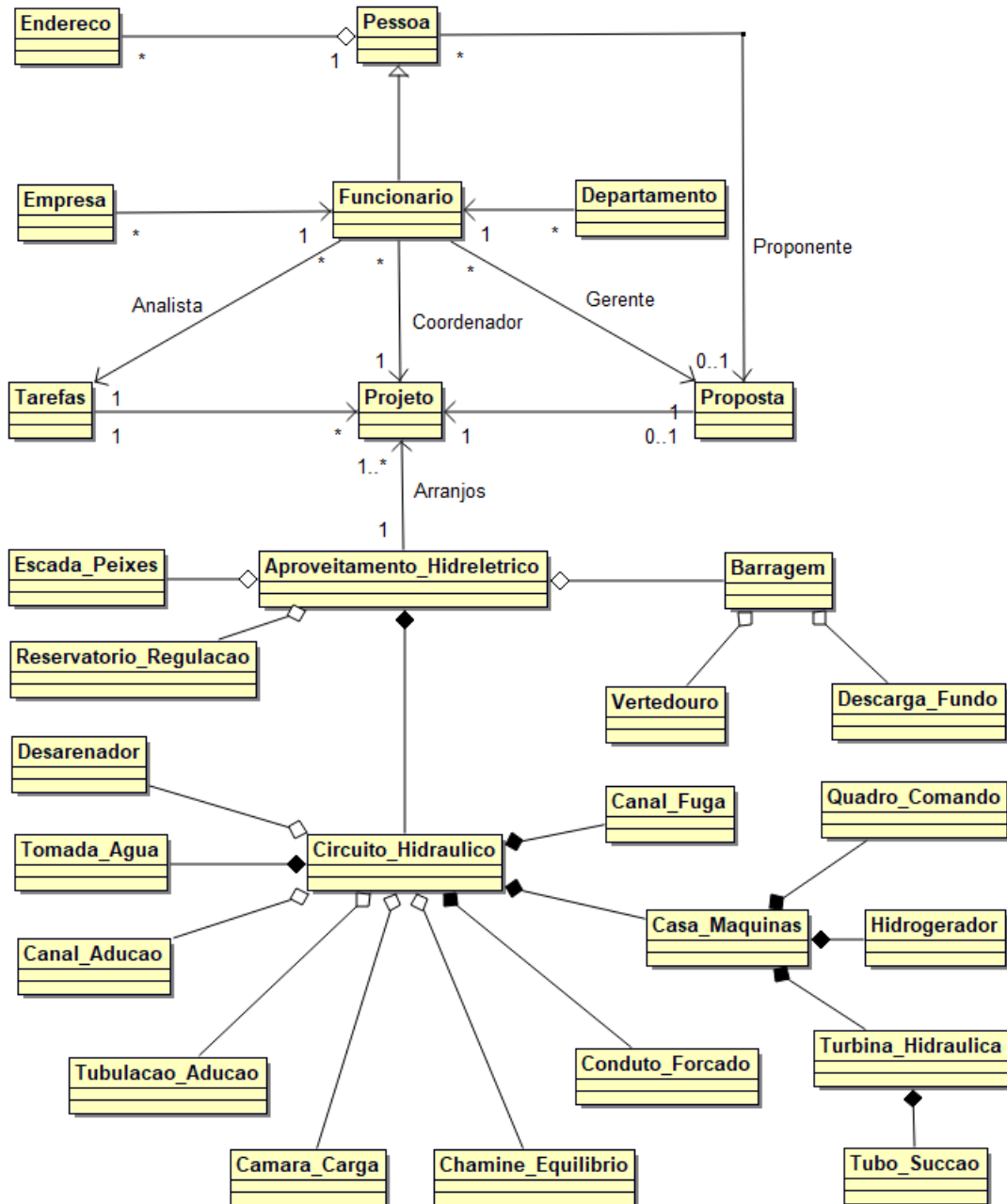
No diagrama de classes, as classes são representadas por retângulos e inclui nome, atributos e operações. As linhas de relacionamento são de associação, agregação (pode ter ou não, símbolo losango) e composição (não existe se não tiver, símbolo losango preenchido). Para identificação dos casos de uso, é usado o formato “UC xx”, onde xx é o número do caso de uso.

Figura 17 - Diagrama de Caso de Uso: Módulo Geral



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 18 - Diagrama de Classes: Módulo Geral



Fonte: Do autor, 2022.

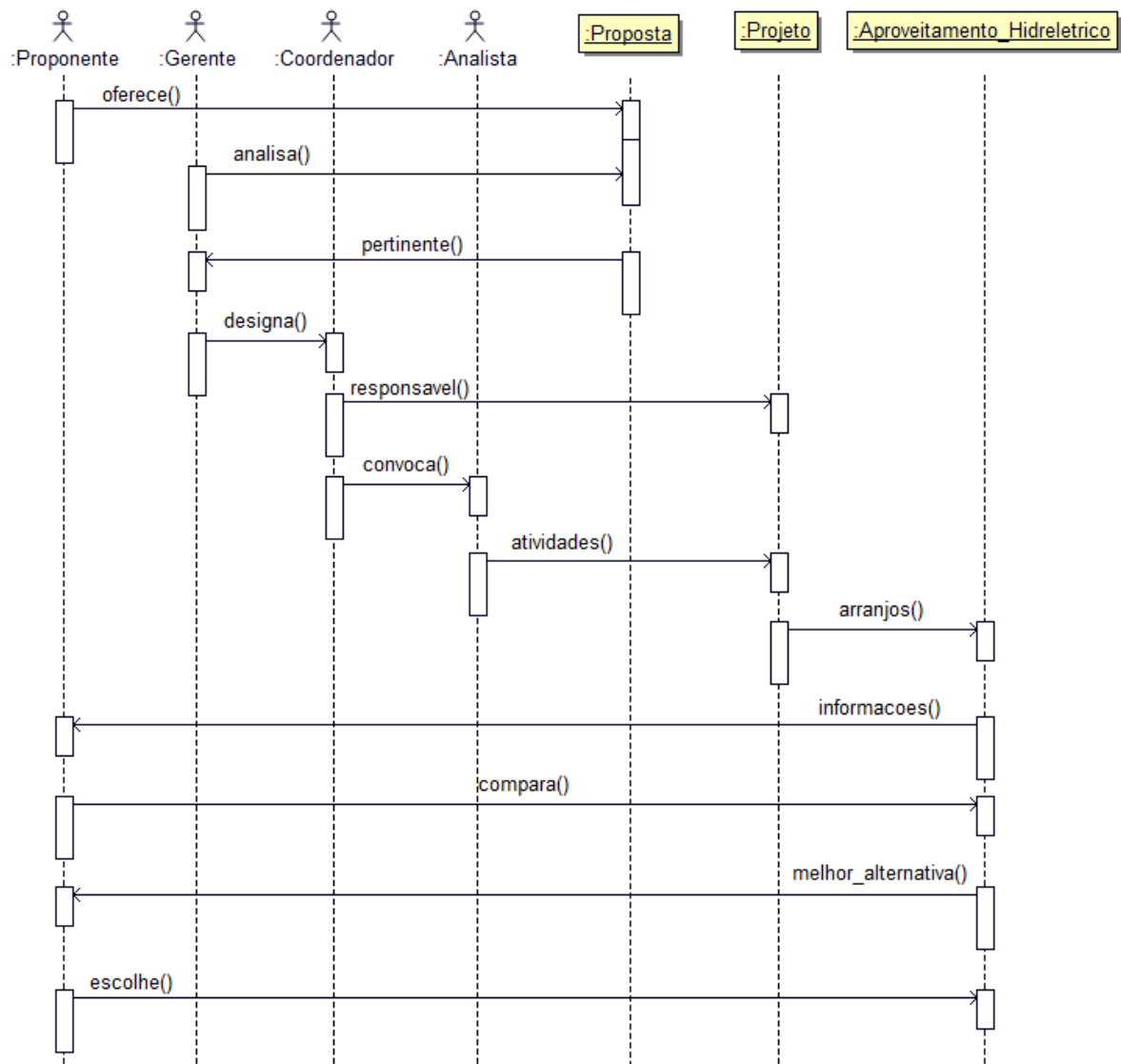
A interação dos atores com o sistema, inicializa quando a pessoa interessada em avaliar o potencial energético disponível em um pequeno curso d'água, denominada "proponente", entra em contato com o gerente e passa os dados sobre o aproveitamento hidrelétrico, como por exemplo: (i) objetivo; (ii) requisitos; e (iii) restrições.

O gerente analisa a proposta e caso entenda ser pertinente, designa um coordenador para ser responsável pelo projeto. O coordenador convoca alguns

analistas para fazer parte de sua equipe e lhes atribui atividades dentro do projeto. O projeto pode conter um ou vários estudos de aproveitamento hidrelétrico, cada um com sua alternativa de arranjo. Para o aproveitamento hidrelétrico é obtido dados referentes ao dimensionamento de carga, características do local, obras civil, equipamentos eletromecânicos e perdas de carga.

De posse das informações obtidas das alternativas de arranjo, o proponente compara e escolhe o melhor cenário para dar continuidade ao empreendimento. O diagrama de seqüência ilustrado na Figura 19 representa o encadeamento do processo.

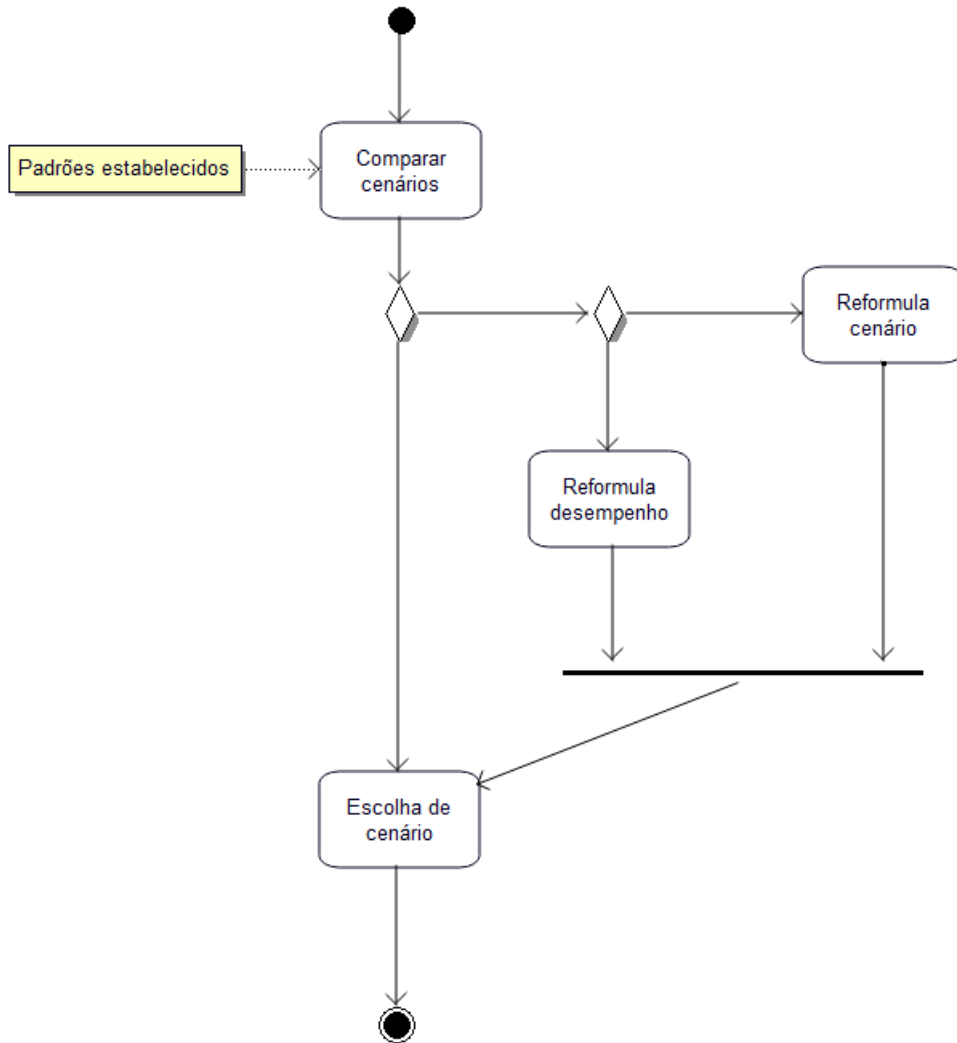
Figura 19 - Diagrama de Sequência: Módulo Geral



Fonte: Do autor, 2022.

A escolha entre as alternativas de arranjo, que compõem cada cenário, é realizada mediante comparação, levando em consideração os padrões estabelecidos previamente. Esta definição é mostrada no diagrama de atividade da Figura 20.

Figura 20 - Diagrama de Atividade: Módulo Cenários

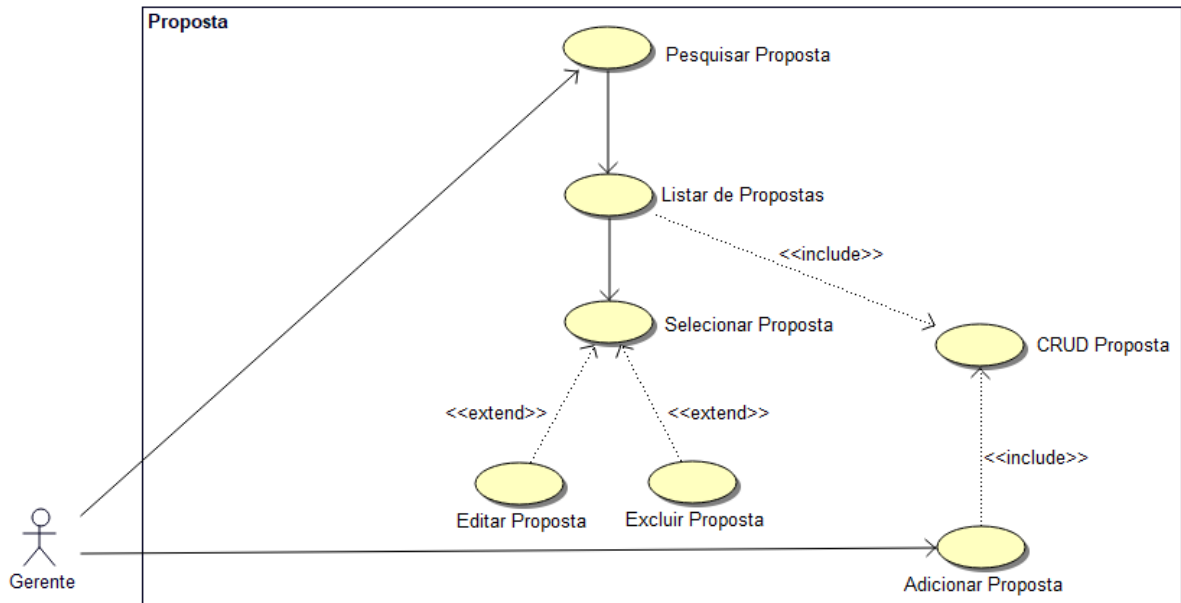


Fonte: Do autor, 2022.

6.1.8 Caso de Uso - Proposta

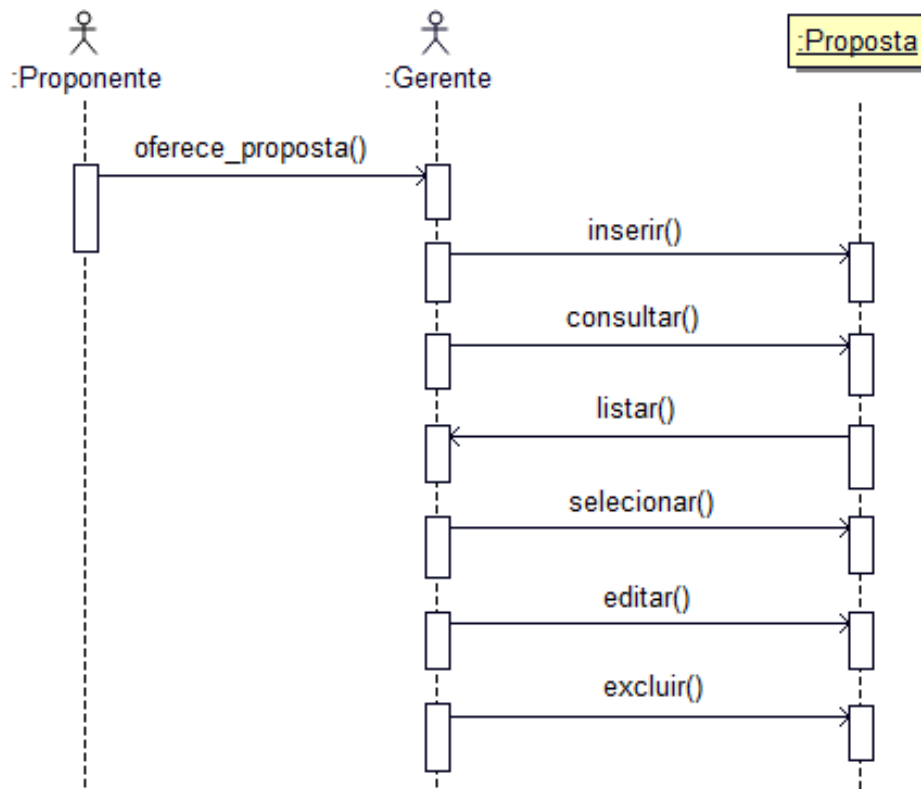
Os casos de uso podem ser expandidos para mostrar mais detalhes, para exemplificar isto, nesta seção é apresentado o módulo manter proposta, onde na Figura 21 é ilustrado o diagrama de caso de uso, na Figura 22 o diagrama de sequência e na Figura 23 o diagrama de classes.

Figura 21 - Diagrama de Caso de Uso: UC 02 - Manter Proposta



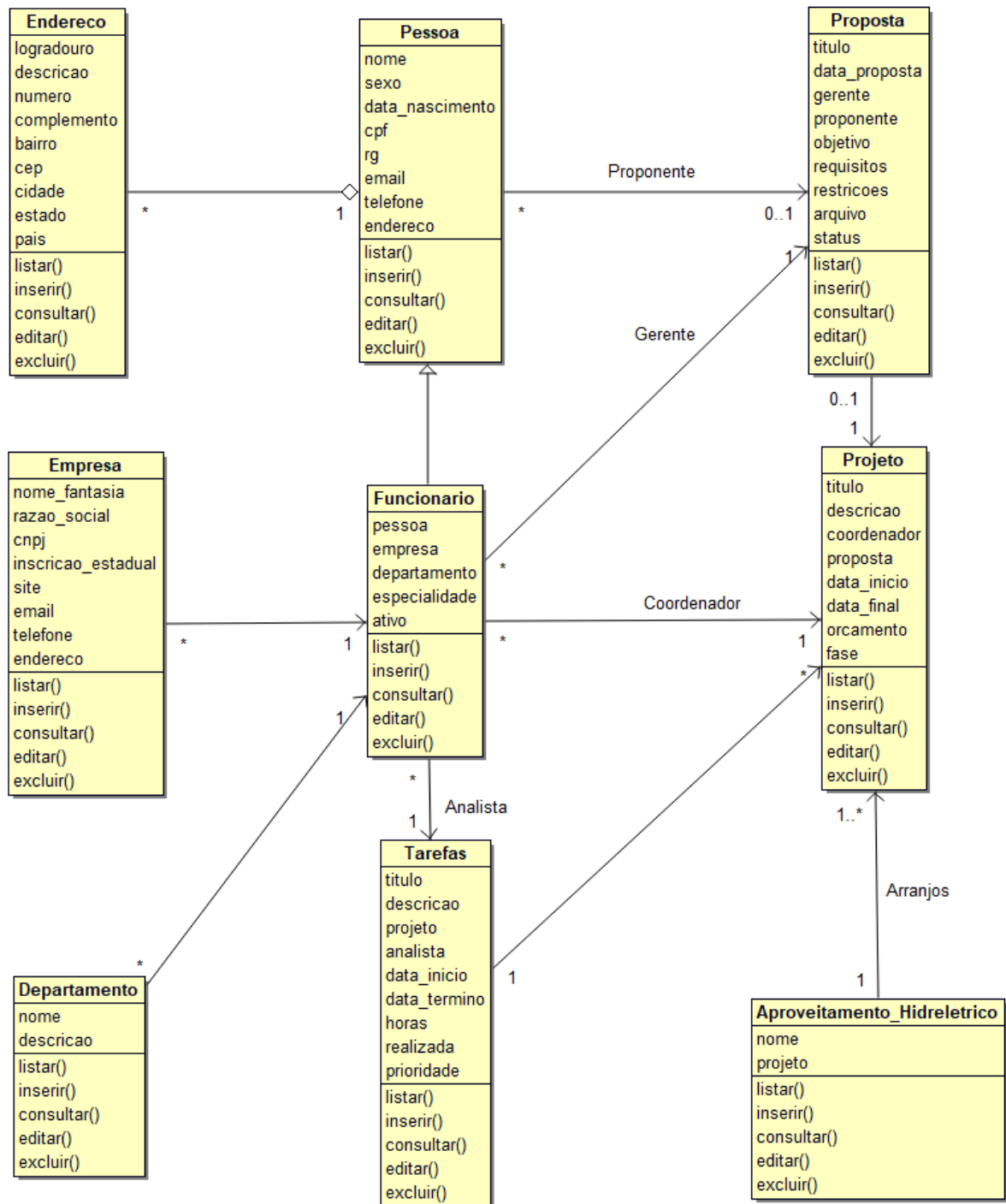
Fonte: Do autor, 2022.

Figura 22 - Diagrama de Sequência: UC 02 - Manter Proposta



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 23 - Diagrama de Classes: UC 02 - Manter Proposta



Fonte: Do autor, 2022.

Na classe “proposta”, o atributo “requisitos”, significa que, em uma determinada proposta de projeto hidrelétrico, há condições necessárias e imprescindíveis que devem ser atendidas. O atributo “restrições”, significa que há limitações ou condicionantes, que se não observados, podem comprometer a

execução do projeto. O atributo “status” marca a execução do projeto, se aberto, cancelado, em espera ou finalizado.

O Quadro 5 mostra um exemplo de documentação do caso de uso “UC 01 - Autenticação”, enquanto o Quadro 6, um exemplo do caso de uso “UC 02 – Manter Proposta”.

Quadro 5 - Caso de Uso - Autenticação

Nome	Autenticação
Identificador	UC 01
Finalidade	Usuário abre o sistema e faz o <i>Login</i>
Ator (es)	Gerente
Pré-condições	O usuário deve ser cadastrado no sistema
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usuário fornece seu nome e senha; e 2. O sistema valida o usuário e redireciona para a tela inicial.
Fluxo Alternativa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usuário cancela a autenticação; e 2. Usuário faz um novo cadastro.
Fluxo de Exceção	O sistema retorna um erro de autenticação
Pós-condições	Fecha a tela de <i>Login</i>

Fonte: Do autor, 2022.

Quadro 6 - Caso de Uso – Manter Proposta

Nome	Manter Proposta
Identificador	UC 02
Finalidade	Usuário abre o sistema e escolhe entre uma nova proposta ou listar as propostas já existente. Permite ao usuário inserir, consultar, editar ou excluir uma proposta
Ator (es)	Gerente
Pré-condições	O usuário deve já estar autenticado
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usuário escolhe novo; 2. O sistema solicita um Nome e cria uma nova proposta;
Fluxo Alternativa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usuário escolhe listar; 2. O sistema mostra as propostas já salvas e pede para escolher uma; e 3. O usuário pode editar ou excluir uma proposta.
Fluxo de Exceção	O Usuário cancela a operação
Pós-condições	Salvar a proposta

Fonte: Do autor, 2022.

6.2 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação corresponde a etapa de codificação dos módulos que foram projetados nas etapas anteriores.

De acordo com as funcionalidades que irá fornecer, o nome apropriado

para o *software* será “*Sistema para Avaliação de Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água - SAPECA*”.

6.2.1 Ferramentas para a implementação

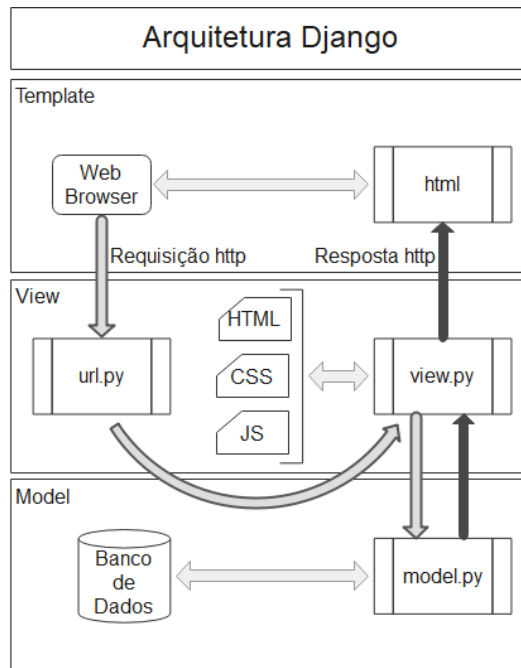
Para a infraestrutura de desenvolvimento será usado a ferramenta de modelagem BOUML (BOUML, 2022). Para edição do código *Python* será usado o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) *PyCharm* (PYCHARM, 2022). Para a modelagem de dados será usado o *DB Browser for SQLite* (DB4S, 2022). Para a produção e teste do sistema *web* serão usados o *GitHub* (GITHUB, 2022) e o *Heroku* (HEROKU, 2022), o *GitHub* é usado para o controle de versão e o *Heroku* e para a hospedagem em nuvem. A infraestrutura de produção será o navegador *web* e conexão com a *Internet*, acessível em um computador.

A codificação do sistema será para a plataforma *web*, usando a linguagem de programação *Python* (PYTHON, 2022), juntamente com o *framework Django* (DJANGO, 2022) e o banco de dados *SQLite* (SQLITE, 2022). *Python* é uma linguagem interpretada que atende ao paradigma de orientação a objetos e permite o desenvolvimento de códigos com elevado nível de abstração. *Django* é um *framework web* gratuito com extensa documentação, usa a arquitetura *Model-Template-View* (MTV) e tem como característica, rapidez, segurança e facilidade na manutenção do sistema.

No *framework Django*, *Model* é responsável pelo mapeamento do banco de dados, *Template* é responsável pela visualização dos dados e *View* é responsável pela lógica de negócio. A Figura 24 mostra uma representação da arquitetura *Django* MTV. Para a persistência dos dados será usado o *SQLite*, por ser um banco de dados relacional simples, multiplataforma, que não necessita de um servidor, é suportado pelo *framework Django* e usa a Linguagem de Consulta Estruturada (SQL) para criar a estrutura e realizar as consultas.

Serão utilizadas também, a classe “*Class-based views*” (CBV, 2022), o *framework “Bootstrap”* (BOOTSTRAP, 2022) e o *framework “Django REST”* (REST, 2022). A “*Class-based views*” disponibiliza ao desenvolvedor funcionalidades avançadas, que podem ser implementadas de maneira simples. O *framework “Bootstrap”* facilita tarefas envolvendo a interface de aplicações *Web*, proporcionando uma melhor experiência para o usuário. O *framework “Django REST”* é um conjunto de ferramentas para construir APIs (Interface de Programação de Aplicação) para *Web*.

Figura 24 - Arquitetura MTV Django



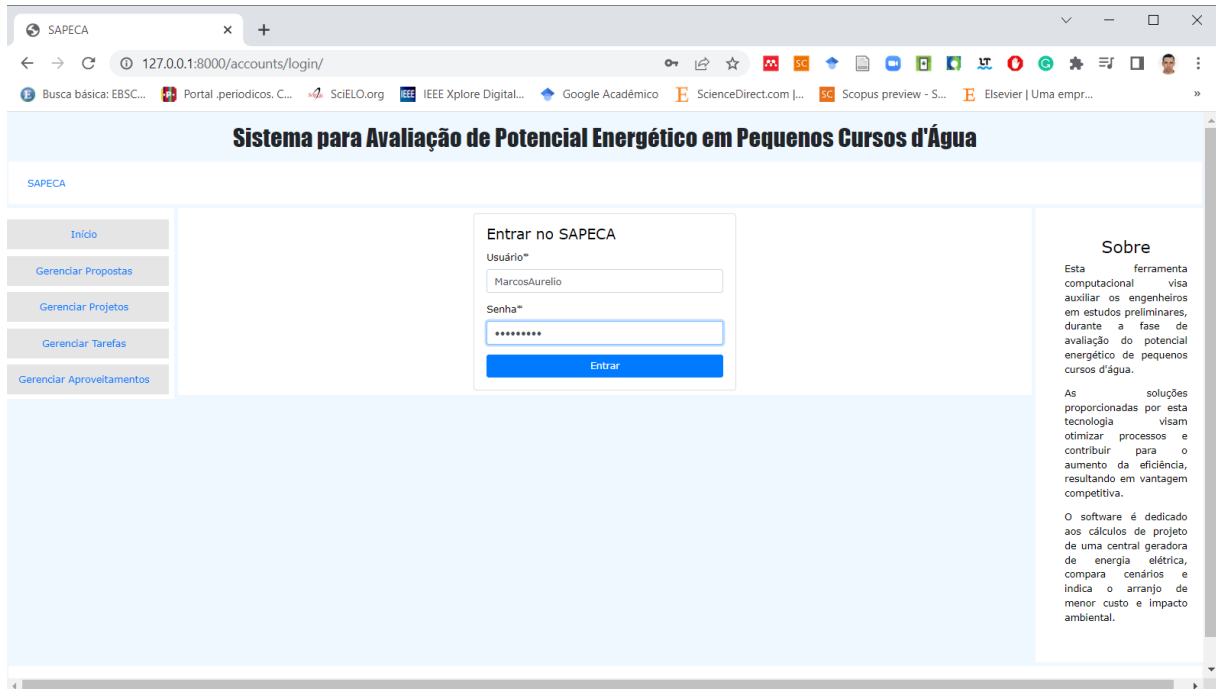
Fonte: Do autor, 2022.

Na arquitetura MTV a camada *Template* é usado pelo usuário para fazer as requisições *http*, na camada *View* o arquivo “*url.py*” verifica a validade dessas requisições, caso esteja correta, reenvia para o arquivo “*view.py*” para ser processada e devolvida como uma resposta ao usuário. A camada *View* pode também se comunicar com a camada *Model*, local onde é feito as transações com o banco de dados.

6.2.2 Prova de conceito

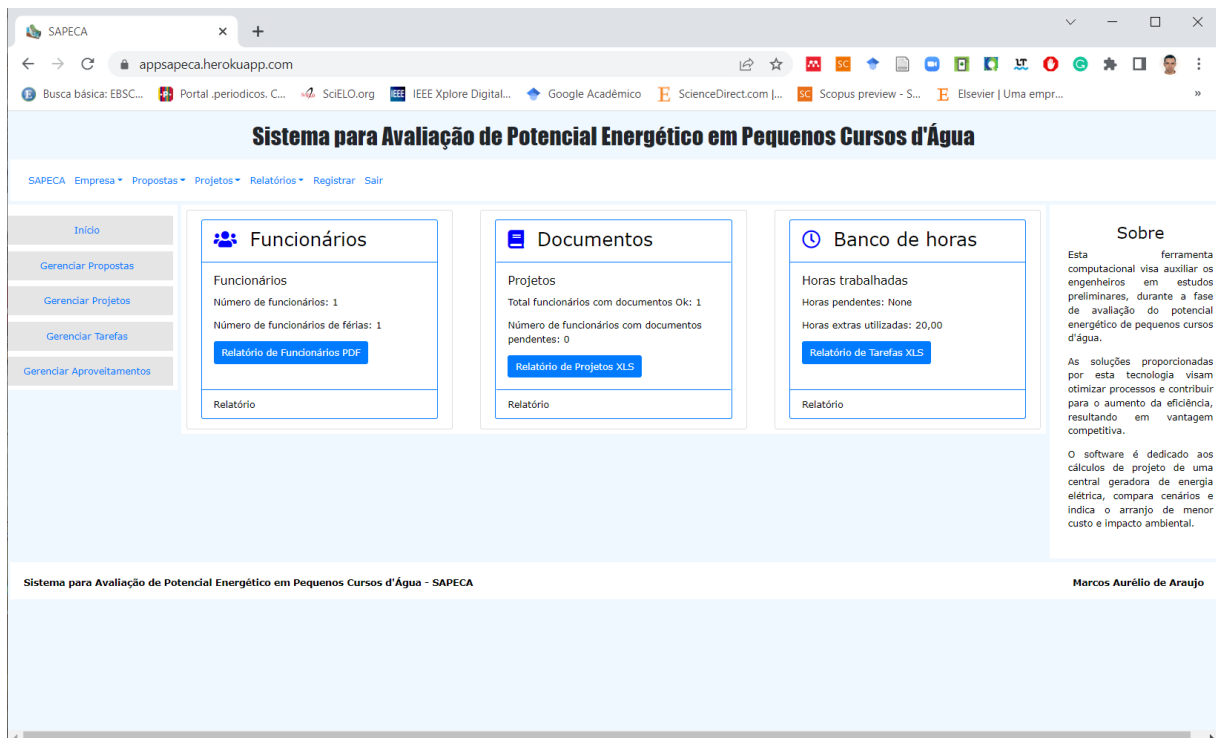
Para verificar a viabilidade e o comportamento do sistema proposto, foi efetuado a codificação das classes “*proposta*”, “*projeto*” e “*aproveitamento hidrelétrico*”, as telas são mostradas nas Figuras 25-29. A prova de conceito é importante, pois, mostra prematuramente por meio de um protótipo a usabilidade dos conceitos teóricos.

Figura 25 - Tela de Autenticação



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 26 - Tela Inicial



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 27 - Tela “Editar Funcionário”

Sistema para Avaliação de Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água

SAPECA Empresa Propostas Projetos Relatórios Registrar Sobre nós Sair

Editar Funcionário

Nome*
Marcos Aurélio de Araujo
Entre com o nome da pessoa

Usuário*
MarcosAurelio
Entre com o nome de usuário

Empresa*
Araujo Energia
Entre com a empresa

Departamento*
Engenharia
Entre com o departamento

Cargo*
Gerente
Cargo do funcionário

Ativo

[Adicionar Pessoa](#)

Propostas

Titulo	Data da Proposta	Proponente	Status	Ação
Hidrelétrica São João	2 de Novembro de 2022	Marcos Aurélio de Araujo	Negociação	i u d

Sobre

Esta ferramenta computacional visa auxiliar os engenheiros em estudos preliminares, durante a fase de avaliação do potencial energético de pequenos cursos d'água.

As soluções proporcionadas por esta tecnologia visam otimizar processos e contribuir para o aumento da eficiência, resultando em vantagem competitiva.

O software é dedicado aos cálculos de projeto de uma central geradora de energia elétrica, compara cenários e indica o arranjo de menor custo e impacto ambiental.

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 28 - Tela “Editar Proposta”

Sistema para Avaliação de Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água

SAPECA Empresa Propostas Projetos Relatórios Registrar Sobre nós Sair

Editar Proposta

Titulo*
Hidrelétrica São João
Entre com o título do projeto proposto

Data proposta*
02/11/2022
Data da proposta

Gerente*
Marcos Aurélio de Araujo
Entre com o nome do gerente

Proponente*
Marcos Aurélio de Araujo
Entre com o nome do proponente

Objetivo
Projeto de uma Central Hidrelétrica no Rio São João
Propósito da proposta

Requisitos

Condição que devem ser atendidas pelo projeto

Sobre

Esta ferramenta computacional visa auxiliar os engenheiros em estudos preliminares, durante a fase de avaliação do potencial energético de pequenos cursos d'água.

As soluções proporcionadas por esta tecnologia visam otimizar processos e contribuir para o aumento da eficiência, resultando em vantagem competitiva.

O software é dedicado aos cálculos de projeto de uma central geradora de energia elétrica, compara cenários e indica o arranjo de menor custo e impacto ambiental.

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 29 - Tela “Editar Projeto”

Sistema para Avaliação de Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água

SAPECA Empresa Propostas Projetos Relatórios Registrar Sobre nós Sair

Editar Projeto

Titulo*
Hidrelétrica São João
Entre com o título do projeto

Descrição*
Hidrelétrica para ser construída no rio São João
Entre com a descrição do projeto

Coordenador*
Marcos Aurélio de Araujo
Entre com o nome do coordenador

Proposta*
Hidrelétrica São João
Entre com a proposta

Data início*
02/11/2022
Data de início do projeto

Data término*
02/11/2022
Data de término do projeto

Orçamento
Orçamento do projeto

Fase*
Inicial
O projeto está em qual fase

Sobre

Esta ferramenta computacional visa auxiliar os engenheiros em estudos preliminares, durante a fase de avaliação do potencial energético de pequenos cursos d'água.

As soluções proporcionadas por esta tecnologia visam otimizar processos e contribuir para o aumento da eficiência, resultando em vantagem competitiva.

O software é dedicado aos cálculos de projeto de uma central geradora de energia elétrica, compara cenários e indica o arranjo de menor custo e impacto ambiental.

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 30 - Tela “Aproveitamento Hidrelétrico”

Sistema para Avaliação de Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água

SAPECA Empresa Propostas Projetos Relatórios Registrar Sobre nós Sair

Editar Aproveitamento

Aba 1 Aba 2 Aba 3 Aba 4 Aba 5 Aba 6 Aba 7 Aba 8 Aba 9

Nome*
Cenário 1 - Hidrelétrica São João
Entre com o nome do aproveitamento hidrelétrico

Projeto*
Hidrelétrica São João
Entre com o projeto

Nome hidrelétrica
Marimbondo
Nome da usina hidrelétrica

Reservatório area
438000000,0
Área do reservatório de regularização [m²]

Reservatório volume
5279360000,0

Nível montante
445,73
Nível da água de montante [m]

Sobre

Esta ferramenta computacional visa auxiliar os engenheiros em estudos preliminares, durante a fase de avaliação do potencial energético de pequenos cursos d'água.

As soluções proporcionadas por esta tecnologia visam otimizar processos e contribuir para o aumento da eficiência, resultando em vantagem competitiva.

O software é dedicado aos cálculos de projeto de uma central geradora de energia elétrica, compara cenários e indica o arranjo de menor custo e impacto ambiental.

Sistema para Avaliação de Potencial Energético em Pequenos Cursos d'Água - SAPECA

Marcos Aurélio de Araujo

Fonte: Do autor, 2022.

O usuário interage com o sistema através das telas, que são requisitadas por meio do menu. A interação com os dados é feita com o preenchimento de campos, que quando solicitado efetua os cálculos e apresenta os resultados.

6.3 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foi abordado os detalhes da modelagem e implementação, relativos ao desenvolvimento do *software* para estudos hidroenergéticos. O objetivo é que esta ferramenta auxilie o projetista nas tarefas relativas ao dimensionamento de um aproveitamento hidrelétrico. Para obter um entendimento do negócio, foi analisado os requisitos funcionais e não funcionais, em seguida, foram feitos os diagramas de caso de uso e de classes, para então iniciar os trabalhos de programação.

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a implementação do *software*, foram realizados os testes para verificar se os algoritmos estão trabalhando da forma esperada, o sistema comportou-se corretamente. Na sequência, buscou por um empreendimento hidrelétrico com seu dimensionamento disponível, então, foram inseridos os dados no sistema e verificado.

O código fonte do *software* SAPECA está hospedado no endereço “<https://github.com/marcosaurelioaraujo/appsapeca>”, o aplicativo é executado a partir do endereço “<https://appsapeca.herokuapp.com/>”. Para acessar este aplicativo, o usuário é “MarcosAurelio” e a senha é “unila2022”.

Os passos para entrada de dados no sistema são, os cadastros de: (i) usuário; (ii) empresa; (iii) departamento; (iv) endereço; (v) pessoa; (vi) funcionário, (vii) propostas; (viii) projetos; (ix) tarefas; e (x) aproveitamento. O responsável pelo cadastro de usuário, deve ter permissão de administrador.

Durante a edição, na tela “Editar Aproveitamento”, é cadastrado o cenário que está sendo avaliado. É preenchido os campos, nível da água de montante e jusante, o sistema calcula e apresenta a altura de queda. O usuário cadastra a vazão de projeto e a descarga máxima do vertedouro, o sistema apresenta o valor do engolimento total. Com o valor das perdas no circuito, outras perdas e o engolimento total, o sistema apresenta o valor da vazão afluente.

Para obter o valor da velocidade específica, o sistema utiliza os dados da frequência elétrica, número de pares de pólos do gerador, vazão turbinada unitária, número de injetores, altura de queda e número de rotores.

Dentre as opções disponíveis: (i) captação com conduto direto; (ii) captação em um ponto e restituição em outro ponto do mesmo rio; ou (iii) captação em um rio e restituição em outro rio, o usuário escolhe a melhor forma de captação da água do rio. Na sequência, são inseridos dados para obtenção do rendimento, de posse deste valor, juntamente com o valor da altura de queda e a vazão afluente, o sistema apresenta o valor da potência turbinável total e unitária.

Como resposta o sistema apresenta o valor do fator de capacidade, a energia anual gerada, o tipo de turbina hidráulica, capacidade de regulação, tipo de arranjo e classificação da hidrelétrica.

7.1 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO SOFTWARE

A função do *software*, em estudo nesta dissertação, é auxiliar no dimensionamento de aproveitamentos hidrelétricos, conectando a equipe responsável pelos trabalhos de engenharia e o proponente do projeto. Durante o projeto, vários arranjos podem ser estudados e analisados, sendo escolhido o que apresente o melhor desempenho.

O *software* baseia-se em equações apresentadas no capítulo 4 (Estudos Hidroenergéticos). Os resultados obtidos são apenas uma previsão teórica e não tem a pretensão de produzir valores reais encontrados em usinas em funcionamento. O *software* também não tem a finalidade de ser um simulador, onde faz comparações automática entre os cenários e apresente como resposta o mais otimizado.

Para se ter um mínimo de segurança no uso do *software*, foram realizados testes. O objetivo dos testes é verificar se o sistema apresenta os resultados esperados, de acordo com os dados de entrada. Para os testes, foi escolhido a UHE Marimbondo, os dados desta usina foram obtidos de documentos divulgados pela EPE (2022). A Tabela 7 mostra os valores das principais características da usina. Os dados foram cadastrados no *software* e os resultados foram analisados em uma planilha.

Tabela 7 - Dados da UHE Marimbondo

UHE Marimbondo		
Característica	Valor	UM
Altura de queda	58,65	[m]
Vazão afluyente	1.695,00	[m ³ s ⁻¹]
Quantidade de turbinas	8	
Vazão turbinável unitária	212	[m ³ s ⁻¹]
Velocidade específica	1.239,36	[rpm]
Escolha capacidade regulação	Acumulação regulação anual	
Forma de captação	Captação com conduto direto	
Rendimento	87,01%	[%]
Fator de disponibilidade	90,24%	[%]
Potência instalada	1.440	[MW]
Potência turbinável	846,00	[MW]
Faixa de potência turbinável	> 30	[MW]
Potência unitária turbinável	105,75	[MW]
Fator de capacidade	58,82%	[%]
Energia anual gerada	3.933.918,20	[MW/ano]
Tipo de turbina hidráulica	Francis	
Capacidade de regulação	Geração constante (anual)	
Tipo de arranjo	Represamento	
Classificação da hidrelétrica	Usina hidrelétrica de energia	

Fonte: Do autor, 2022.

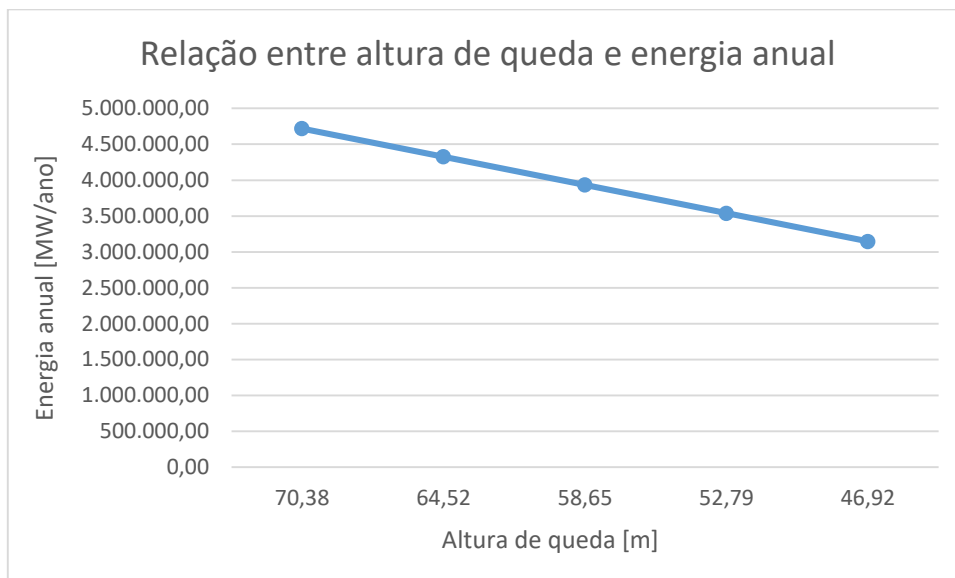
A altura de queda é a diferença entre os níveis de montante e jusante, quanto mais alto, mais energia potencial o curso d'água proporcionará para o aproveitamento hidrelétrico. A Tabela 8 e o Gráfico 2, mostram a relação entre a altura de queda e a energia anual.

Tabela 8 - Tabela da relação entre altura de queda e energia anual

Cenário	Altura de queda [m]	Energia anual [MW/ano]
1	70,38	4.720.701,84
2	64,52	4.327.310,02
3	58,65	3.933.918,20
4	52,79	3.540.526,38
5	46,92	3.147.134,56

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 2 - Gráfico da relação entre altura de queda e energia anual



Fonte: Do autor, 2022.

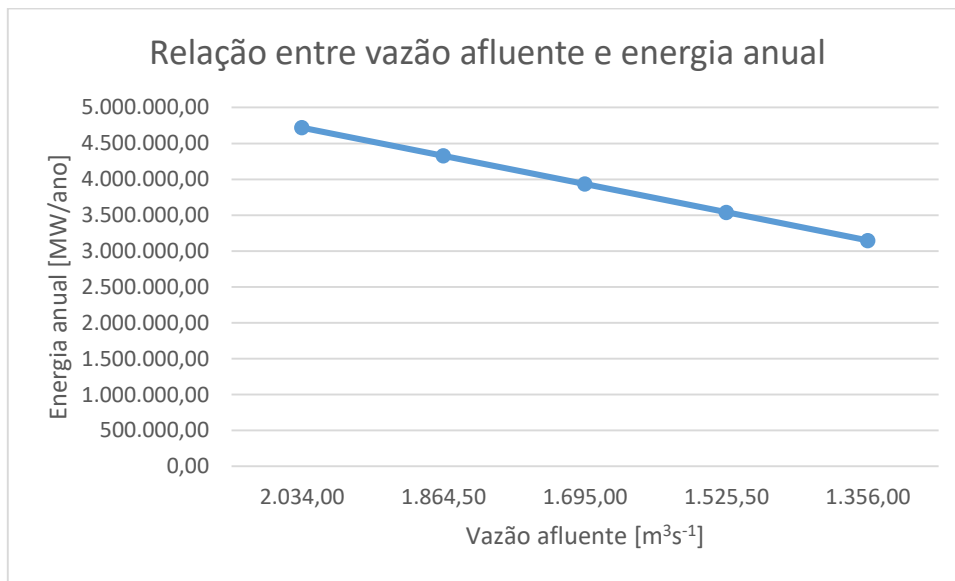
A vazão afluente é volume de água por unidade de tempo, que passa pelo conduto forçado e depois pela turbina hidráulica. Quanto maior a vazão, mais energia hidráulica é transferida para o eixo da turbina. A Tabela 9 e o Gráfico 3, mostram a relação entre a vazão e a energia anual.

Tabela 9 - Tabela da relação entre vazão afluente e energia anual

Cenário	Vazão afluente [m ³ s ⁻¹]	Energia anual [MW/ano]
1	2.034,00	4.720.701,84
2	1.864,50	4.327.310,02
3	1.695,00	3.933.918,20
4	1.525,50	3.540.526,38
5	1.356,00	3.147.134,56

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 3 - Gráfico da relação entre vazão afluente e energia anual



Fonte: Do autor, 2022.

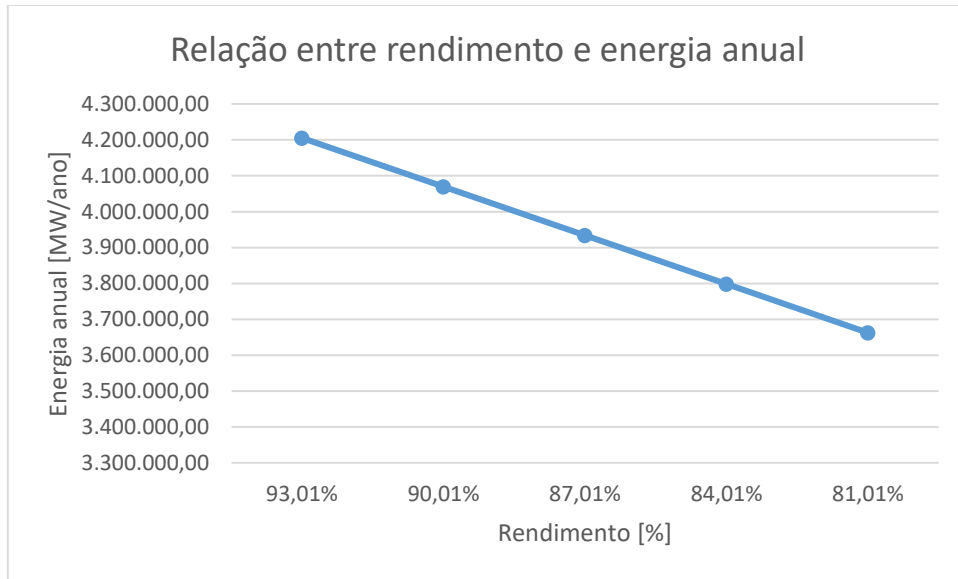
O rendimento total é a porcentagem usada da energia, descontando as perdas por atritos e as perdas em equipamentos eletromecânicos. Quanto menor o rendimento, menor será a energia produzida pelo aproveitamento hidrelétrico. A Tabela 10 e o Gráfico 4, mostram a relação entre o rendimento e a energia anual.

Tabela 10 - Tabela da relação entre rendimento e energia anual

Cenário	Rendimento [%]	Energia anual [MW/ano]
1	93,01%	4.205.191,72
2	90,01%	4.069.554,96
3	87,01%	3.933.918,20
4	84,01%	3.798.281,44
5	81,01%	3.662.644,67

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 4 - Gráfico da relação entre rendimento e energia anual



Fonte: Do autor, 2022.

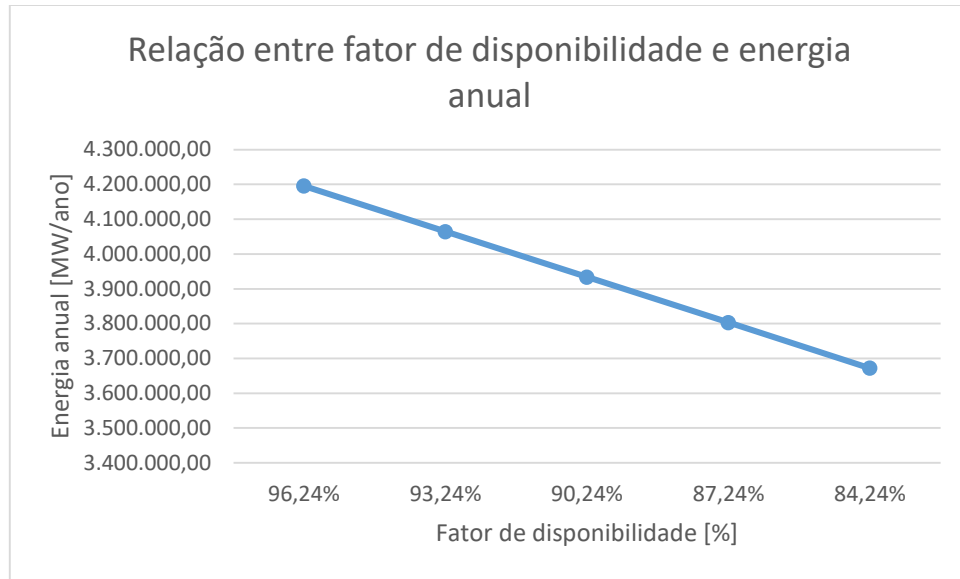
O fator de disponibilidade, é um índice usado para medir as perdas por paradas planejadas ou não. Essas paradas fazem com que a unidade geradora deixe de produzir eletricidade, comprometendo o desempenho da usina. A Tabela 11 e o Gráfico 5, mostram a relação entre o fator de disponibilidade e a energia anual.

Tabela 11 - Tabela da relação entre fator de disponibilidade e energia anual

Cenário	Fator de disponibilidade [%]	Energia anual [MW/ano]
1	96,24%	4.195.481,91
2	93,24%	4.064.700,05
3	90,24%	3.933.918,20
4	87,24%	3.803.136,34
5	84,24%	3.672.354,49

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 5 - Gráfico da relação entre fator de disponibilidade e energia anual



Fonte: Do autor, 2022.

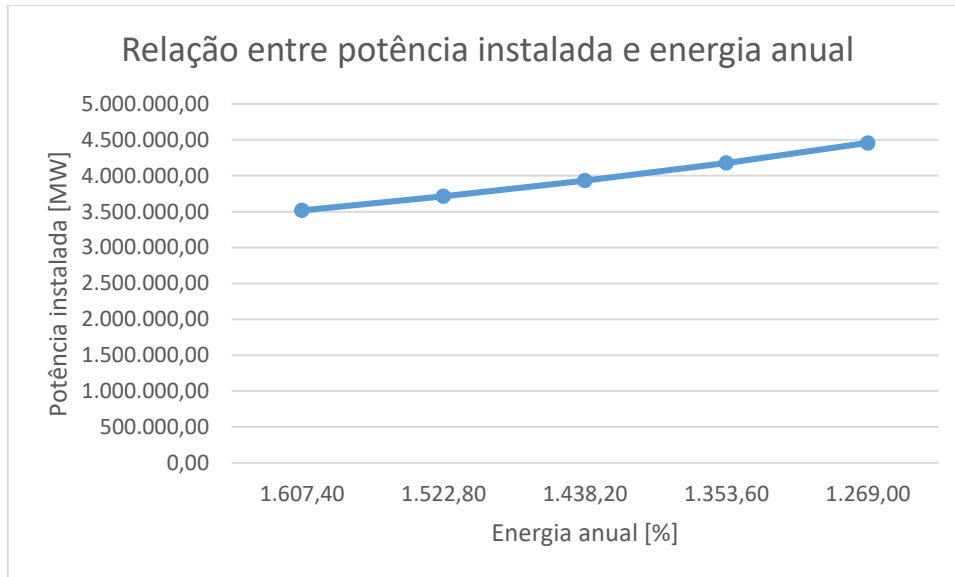
A potência instalada, tem a ver com a escolha da potência da turbina hidráulica que será usada no empreendimento. Quanto mais próximo o valor da potência instalada com a potência turbinada, maior será o fator de capacidade e conseqüentemente a energia anual gerada. A Tabela 12 e o Gráfico 6, mostram a relação entre a altura de queda e a energia anual.

Tabela 12 - Tabela da relação entre potência instalada e energia anual

Cenário	Potência instalada [MW]	Energia anual {MW/ano}
1	1.607,40	3.519.821,54
2	1.522,80	3.715.367,19
3	1.438,20	3.933.918,20
4	1.353,60	4.179.788,08
5	1.269,00	4.458.440,62

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 6 - Tabela da relação entre potência instalada e energia anual



Fonte: Do autor, 2022.

Nos testes, foram analisados 5 cenários, para cada uma das 5 principais características da UHE Marimbondo. Com esta análise foi possível verificar que os resultados são coerentes.

Observa-se que, quando faz alterações nas características do aproveitamento hidrelétrico, a energia anual é elevada ou diminuída. Esta resposta do sistema, fornece subsídios para que os responsáveis pelo empreendimento tomem decisões. Para estes testes, houve um incremento ou decremento de 10% na altura, vazão e potência instalada, tomando como referência os valores da Tabela 7. Para o rendimento e o fator de disponibilidade, o incremento ou decremento foi de 3%.

Verifica-se, com isso, a importância de uma ferramenta computacional para dimensionar empreendimentos hidrelétricos. No dimensionamento faz-se comparações de cenários, o que possibilita a escolha de uma configuração que melhor atenda aos interesses dos envolvidos.

7.2 CONSISTÊNCIA, COMPLETEDE E CORRETUDE DO SOFTWARE

Para as funções ao qual o *software* foi desenvolvido, os resultados dos testes são satisfatórios. Com os resultados obtidos a partir do *software*, pode-se tomar decisões sobre qual arranjo tem melhor relação custo-benefício. Nesta seção serão analisadas a consistência, a completude e a corretude do *software*. Consistência, significa que o sistema é coerente e satisfaz suas especificações. Completude,

significa que o sistema contém as funcionalidades e ressalvas acordadas com o usuário. Corretude, significa que o sistema mostra seus resultados corretamente.

Para estes testes, foram escolhidas as Usinas Hidrelétricas Barra Bonita, Emborcação, Furnas, Marimbondo e Três Marias. Um resumo dos resultados obtidos por meio do sistema é apresentado na Tabela 13. Dados reais das Usinas Hidrelétricas, obtidos de documentos divulgados pela EPE (2022), é mostrado na Tabela 14. A comparação entre os valores obtidos por meio do sistema e dados reais é mostrado no Gráfico 7.

Tabela 13 - Dados obtidos do sistema

Hidrelétrica	Potência [MW]	Energia anual [MW/ano]	Tipo de turbina
UHE Barra Bonita	132,74	659.365,33	Kaplan
UHE Emborcação	1014,00	4.854.080,85	Francis
UHE Furnas	1174,33	4.968.060,67	Francis
UHE Marimbondo	846,00	3.933.918,20	Kaplan
UHE Três Marias	506,38	2.236.193,54	Kaplan

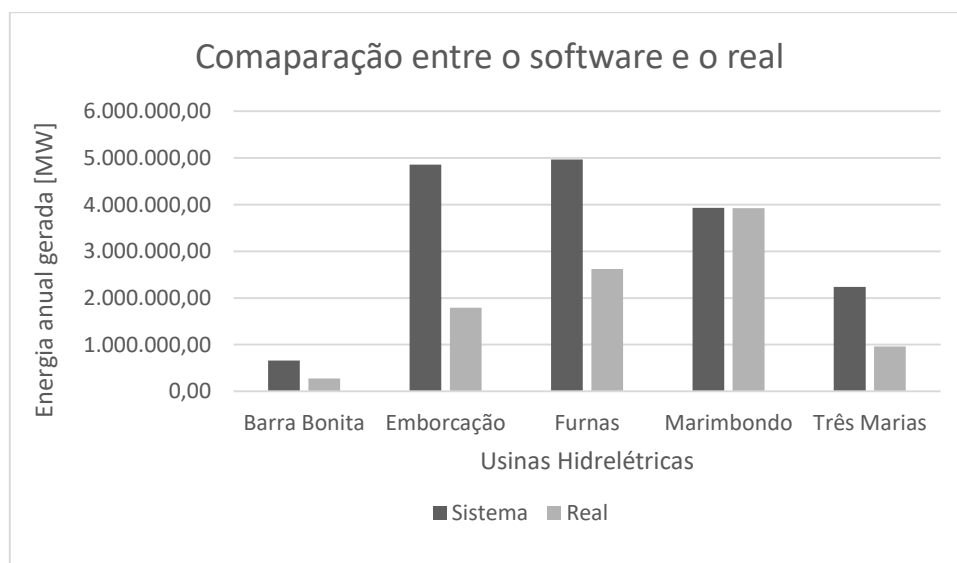
Fonte: Do autor, 2022.

Tabela 14 - Dados reais de hidrelétricas

Hidrelétrica	Potência [MW]	Energia anual [MW/ano]	Tipo de turbina
UHE Barra Bonita	67,8	275.779,05	Kaplan
UHE Emborcação	512,1	1.790.412,56	Francis
UHE Furnas	691,1	2.618.154,16	Francis
UHE Marimbondo	845,73	3.926.487,08	Francis
UHE Três Marias	257,2	960.957,88	Kaplan

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 7 - Comparação entre dados obtidos do sistema e reais



Fonte: Do autor, 2022.

A princípio, quando analisamos a UHE Marimbondo, o sistema pareceu coerente, no entanto, quando o sistema é usado para analisar outras usinas, os resultados apresentados ficam distantes do real. A variação percentual entre o apresentado pelo sistema e real para a UHE Barra Bonita foi de 139,09%, para UHE Emborcação foi de 171,12%, para UHE Furnas foi de 89,75%, para UHE Marimbondo foi de 0,19% e para UHE Três Marias foi de 132,7%. Estas diferenças justificam-se, pelo fato da UHE Marimbondo trabalhar com uma potência instalada de 70% a mais que a sua potência turbinada, este fato altera o fator de capacidade e consequentemente a energia anual gerada.

No gráfico, observamos que a energia anual da UHE Marimbondo, tanto o valor obtido pelo sistema, quanto o valor real são equivalentes, pois, o *software* estava configurado para trabalhar com um valor de potência instala, 70% a mais que a potência turbinada. Alterando o valor de 70%, para 100%, ou seja, potência instalada duas vezes maior que a potência turbinada, resulta em um fator de capacidade de 50%. Também, diminuindo o rendimento em 60%, é obtido novos valores para a energia anual das usinas em estudo.

Os dados disponibilizados pelo sistema são mostrados na Tabela 13, enquanto os dados reais são mostrados na Tabela 14. A comparação entre os valores obtidos por meio do sistema e dados reais é mostrado no Gráfico 7.

Tabela 15 - Dados obtidos do sistema

Hidrelétrica	Potência [MW]	Energia anual [MW/ano]	Tipo de turbina
UHE Barra Bonita	79,64	336.276,32	Kaplan
UHE Emborcação	608,40	2.475.581,23	Francis
UHE Furnas	704,60	2.533.710,94	Francis
UHE Marimbondo	507,60	2.006.298,28	Kaplan
UHE Três Marias	303,83	1.140.458,70	Kaplan

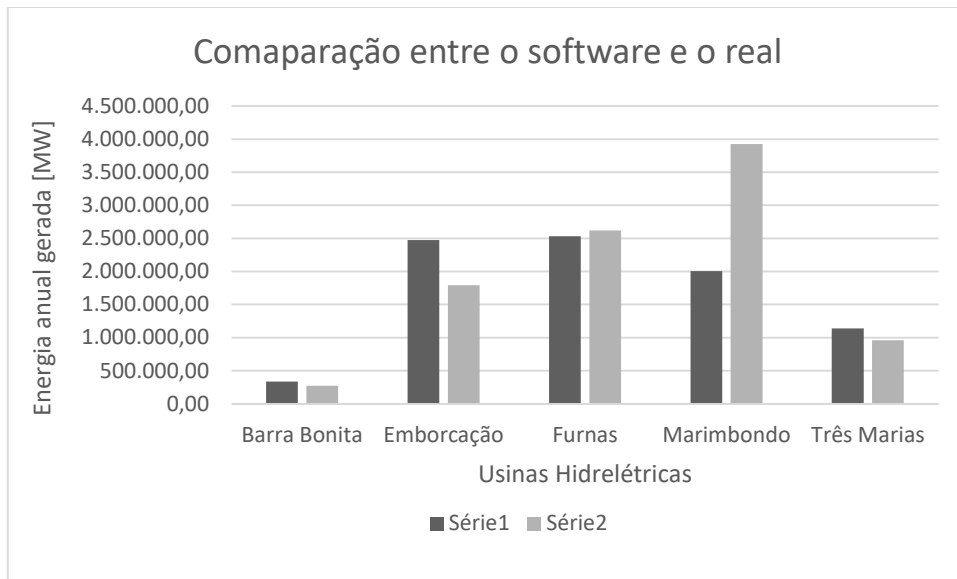
Fonte: Do autor, 2022.

Tabela 16 - Dados reais de hidrelétricas

Hidrelétrica	Potência [MW]	Energia anual [MW/ano]	Tipo de turbina
UHE Barra Bonita	67,80	275.779,05	Kaplan
UHE Emborcação	512,10	1.790.412,56	Francis
UHE Furnas	691,10	2.618.154,16	Francis
UHE Marimbondo	845,73	3.926.487,08	Francis
UHE Três Marias	257,20	960.957,88	Kaplan

Fonte: Do autor, 2022.

Gráfico 8 - Comparação entre dados obtidos do sistema e reais



Fonte: Do autor, 2022.

Nesta nova análise, a variação percentual entre o apresentado pelo sistema e real para a UHE Barra Bonita foi de 21,94%, para UHE Emborcação foi de 38,27%, para UHE Furnas foi de -3,23%, para UHE Marimbondo foi de -48,93% e para UHE Três Marias foi de 18,68%. Agora, constatamos diferenças, nas usinas Emborcação e Marimbondo, nas demais usinas, os valores apresentados pelo sistema são próximos ao encontrado nas usinas reais.

Observando estes dois últimos gráficos, chega-se à conclusão que o rendimento das usinas Barra Bonita, Furnas e Três Marias, são inferiores da UHE Marimbondo, na ordem de 60%.

O *software* mostrou-se confiável, após passar pelos testes de consistência, completude e corretude. Claro que, este sistema deve passar por outros testes, porém, para este momento, os resultados são satisfatórios.

7.3 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo, foram mostradas as características do *software* e suas funcionalidades. O *software* foi submetido a um teste, com os objetivos de avaliar a qualidade do produto. Os resultados obtidos atenderam às expectativas.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O objetivo da dissertação foi o desenvolvimento de um *software*, que auxilie no dimensionamento de hidrelétricas de forma acessível e intuitiva. Para alcançar este objetivo, foi estruturado os passos do dimensionamento de hidrelétricas e em seguida a modelagem do sistema computacional.

O *software* tem a característica de ser uma ferramenta gerencial, no qual aborda as etapas de proposta, projeto, tarefas e o dimensionamento do aproveitamento hidrelétrico. Na proposta, o proponente entra em contato com o gerente e expõe seu desejo de construir uma unidade geradora de energia, o gerente analisa a proposta e entendendo pertinente, inicia o projeto. O coordenador do projeto juntamente com alguns analistas faz, com o auxílio do *software*, o dimensionamento do aproveitamento hidrelétrico. Para uma tomada de decisão mais acertada, é analisado alguns cenários possíveis, destes, o mais interessante é escolhido para dar continuidade ao projeto.

Para avaliação o *software*, foi realizado alguns testes usando dados de usinas hidrelétricas reais. Nestes testes, o *software* teve o comportamento desejado, qualificando-o para fazer comparações de cenários, auxiliando na escolha de um arranjo de hidrelétrica que melhor atenda aos requisitos qualidade.

Este trabalho procura preencher uma lacuna, atualmente existente na área de projetos de hidrelétricas. As ferramentas disponíveis para auxiliar nesses projetos, em sua maioria são planilhas eletrônicas, que possuem limitações em vários aspectos, como por exemplo, incapacidade de criar associações em banco de dados, conflito que ocorre quando o arquivo é carregado em versões diferentes do programa, entre outras. O *software* "SAPECA", é de fácil utilização, fornece relatórios detalhados, pode ser acessado remotamente a partir de um navegador da internet, etc. Ainda, os resultados dos cálculos são imediatamente apresentados ao usuário, o qual, pode fazer alterações nos valores de entrada, e assim simular várias possibilidades de arranjos da hidrelétrica.

Nesta primeira versão, o *software* não considera todos os aspectos que envolve a construção de uma estação geradora de energia, tampouco possui algoritmos de simulação, porém, no futuro podem ter acréscimos, que tornará este sistema cada vez mais completo.

Contribuições de trabalhos futuros, como atualizações no *software*, podem

conter mais funcionalidades e relatórios. A nova versão do *software* pode abranger as etapas de estudos de inventário da bacia hidrográfica, estudos de impacto ambiental, estudos de viabilidade, projeto básico, projeto executivo e viabilidade econômica.

Outra contribuição que poderá enriquecer o presente estudo, é a associação do *software*, produto desta dissertação, com um sistema de árvore de decisão. Árvore de decisão, é um algoritmo de aprendizado de máquina, usado para a tomada de decisão. Os dados do aproveitamento hidrelétrico são inseridos no sistema, que com auxílio da inteligência artificial, determina qual o melhor arranjo para o aproveitamento hidrelétrico, dentre os diferentes cenários.

Espera-se que este *software* resulte em benefícios econômico, científico e acadêmico, proporcionando uma ferramenta a mais para apoiar as energias renováveis.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13403: Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – Escoamento livre: Referências. Rio de Janeiro, p. 7. 1995.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Disponível em:
<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 875 de 10 de março de 2020. Disponível em:
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020875.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BANO, M.; ZOWGHI, D.; RIMINI, F. User satisfaction and system success: an empirical exploration of user involvement in software development. **Empirical Software Engineering**, v. 22, n. 5, p. 2339-2372, 2017.

BATISTA, J. C. Metodologia para ensaios de modelo de sistemas de proteção de geradores síncronos utilizando simulador digital em tempo real. 2015. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1147M.PDF>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos. Ed. da UFSC. Florianópolis, 2006.

BOOTSTRAP. Bootstrap Framework Web. Disponível em
<https://getbootstrap.com.br/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

BOUML. Free UML 2 Tool Box. Disponível em <https://www.bouml.fr/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União** - Seção 1, Poder Executivo. Brasília, DF, 8 jul. 1995.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União** - Seção 1, Poder Executivo. Brasília, DF, 2 set. de 1981.

CANDIDO, B. S. L.; SANTOS, F. A. Estudo de Viabilidade Econômico-Financeira de uma Central Geradora Hidrelétrica (CGH). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade – RMS**, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 3-27, set./dez. 2012.

CBV. Django Class-Based Views. Disponível em <https://ccbv.co.uk/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

COPEL. Geração Distribuída. Disponível em:
<https://www.copel.com/hpcweb/fornecedores-e-parceiros/geracao-distribuida/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

DA SILVA, A. M. R.; VIDEIRA, C. A. E. UML, Metodologias e Ferramentas CASE. Lisboa: Ed. Centro Atlântico. 2001.

DB4S. DB Browser for SQLite. Disponível em <https://sqlitebrowser.org/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

DHAUBANJAR, S. *et al.* A systematic framework for the assessment of sustainable hydropower potential in a river basin—The case of the upper Indus. **Science of the Total Environment**, v. 786, p. 147142, 2021.

DJANGO. Django Software Foundation. Disponível em <https://www.djangoproject.com/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

EFE, P.; DEMIRORS, O. A change management model and its application in software development projects. **Computer Standards & Interfaces**, v. 66, p. 103353, 2019.

EHRlich, P. J. Avaliação e seleção de projetos de investimentos – critérios quantitativos. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1979.

ELETROBRÁS, Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Rio de Janeiro, 2000.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 12 nov. 2021.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica nº EPE-DEE-088/2019: Expansão da Geração - Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas - Caderno de Apêndices. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-432/EPE-DEE-088_2019_Repotenciação de Usinas Hidrelétricas - Caderno de Apêndices.pdf. Acesso em: 07 jan. 2022.

ESHRA, N. M.; ZOBAA, A. F.; ALEEM, S. HE A. Assessment of mini and micro hydropower potential in Egypt: Multi-criteria analysis. **Energy Reports**, v. 7, p. 81-94, 2021.

FERREIRA, J. H. I. Uma contribuição ao estudo da estimativa do potencial hidrelétrico de pequenas centrais hidráulicas. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2014.

FERREIRA, J. H. I. *et al.* Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 380-387, 2016.

GARCIA, C. Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecânicos Vol. 1. Edusp, 2009.

GITHUB. Distributed Version Control Software. Disponível em <https://github.com/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

GUEDES, G. T. A. UML 2-Uma abordagem prática. Novatec Editora, 2018.

HENN, É. A. L. Máquinas de Fluido - 2ª ed. - Santa Maria: Editora UFSM, 2006.

HERA. Sistema de Apoio à Decisão sobre Seleção de Inventários Hidrelétricos. Versão 1.3.0-beta2: PSR - Energy Consulting and Analytics, 2020. Disponível em: <https://www.psr-inc.com/software/?current=p7065>. Acesso em: 12 nov. 2021.

HEROKU. Cloud Application Platform. Disponível em <https://www.heroku.com/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

HIDROENERGIA. Hidroenergia Engenharia e Automação Ltda. Disponível em: <https://docplayer.com.br/3014079-Apresentacao-estabelecida-em-ijui-rs-distrito-industrial-a-rua-jacob-nicoletti-142.html>. Acesso em: 12 nov. 2021.

HOES, O. AC *et al.* Systematic high-resolution assessment of global hydropower potential. **PLoS One**, v. 12, n. 2, p. e0171844, 2017.

IHA. International Hydropower Report. Hydropower Status Report (2021). Disponível em <https://www.hydropower.org/status-report>. Acesso em: 12 nov. 2021.

ISLAM, G.; STORER, T. A case study of agile software development for safety-critical systems projects. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 200, p. 106954, 2020.

JABREF. Software gerenciador de referência. Versão 5.2: Morten O. Alver, Nizar N. Batada, *et al.*, 2021. Disponível em: <https://www.jabref.org/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

MACINTYRE, A. J. Máquinas Motrizes Hidráulicas. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1983.

MDA. Microhydro Design Aids. Versão 2010.04: Small Hydropower Promotion Project, 2010. Disponível em: [https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_\(MHP\)_Manuals/_Micro-Hydro_Design_Aids_Manual](https://energypedia.info/wiki/Micro_Hydro_Power_(MHP)_Manuals/_Micro-Hydro_Design_Aids_Manual). Acesso em: 12 nov. 2021.

MENDELEY. Software gerenciador de referência. Versão 1.19.8: Mendeley Ltd., 2020. Disponível em: https://www.mendeley.com/?interaction_required=true. Acesso em: 12 nov. 2021.

MITROVIC, D. *et al.* Multi-country scale assessment of available energy recovery potential using micro-hydropower in drinking, pressurised irrigation and wastewater networks, covering part of the eu. **Water**, v. 13, n. 7, p. 899, 2021.

MME, Ministério de Minas e Energias. Procedimentos para Dimensionamento Básico de Micro e Minicentraís Hidrelétricas. Brasília: CERPCH, 2008.

MOHINO, J. V. *et al.* The application of a new secure software development life cycle (S-SDLC) with agile methodologies. **Electronics**, v. 8, n. 11, p. 1218, 2019.

MOURA, A. P.; MOURA, A. A. F.; ROCHA, E. P. Engenharia de Sistemas de Potência: Geração Hidroelétrica e Eólioelétrica, Fortaleza: Imprensa Universitária, 2019.

PAES, F. H. S. Sistematização da modelagem no projeto de sistemas mecatrônicos exemplificada na automação de centrais hidrelétricas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

PAGANI, R. N. KOVALESKI, J. L. RESENDE, L. M. Método para Seleção e Ordenação de Portfólio Bibliográfico *Methodi Ordinatio*. Processo técnico com patente de registro pendente ao INPI. Brasil, 2015. Disponível em: <http://www.nitpar.pr.gov.br/wp-content/uploads/2018/07/utfpr.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. M. Avanços na composição da *Methodi Ordinatio* para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, v. 46, n. 2, 2017.

PAULEK, D. M.; FREITAS, C.; ALMEIDA, M. I. Análise da evolução da curva cota x área x volume de um reservatório de cabeceira. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos e I PiA - Partículas nas Américas, XIII, Vitória, 2018.

PEDROSO, H. B. Roteiro para projeto de pequenas e médias usinas hidrelétricas. Goiânia: Ed. UFG, 1982.

PERES, L. M. *et al.* Análise do comportamento dinâmico de uma máquina síncrona e seus controles em um sistema elétrico com geração distribuída via ATPDRAW. **XI CEEL-ISSN 2178-8308**, p. 25. 2013

POMPILHO, S. Análise Essencial – Guia Prático de Análise de Sistemas. Rio de Janeiro: Infobook. 1994.

PRÉ-DIMENSIONAMENTO. Planilha de Pré-dimensionamento de CGHs. Secretaria de Energia do estado de São Paulo. Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalev2/intranet/renovaveis/pchs/Pre Dimensionamento.xlsx>. Acesso em: 12 nov. 2021.

PRESSMAN, Roger S. Engenharia de Software. Makron Books. 1995.

PRODIST. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em: 12 nov. 2021.

PRUDENTE, É. P. Procedimento para avaliação do aproveitamento Hidro-Energético Máximo de uma Bacia Hidrográfica. 2017. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

PYCHARM. IDE Python. Disponível em <https://www.jetbrains.com/pt-br/pycharm/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

PYTHON. Python Software Foundation. Disponível em <https://www.python.org/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

REST. Django REST framework. Disponível em <https://www.django-rest-framework.org/>. Acesso em: 07 jan. 2022.

SÁ, Cleber Malta de. Micro, Mini e PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas. Goiânia: Kelps. 2009.

SANTOS, T. B. Decisão de Investimento: Estudo de viabilidade de uma pequena central hidrelétrica. Orientador: Roberto Lamb. 2008. 61 f. TCC (Graduação) – Curso de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18125/000686733.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SHPD. Small Hydro Power Designer. Versão 1.1: Muhammad Asif. Disponível em: <https://www.theengineeringcommunity.org/small-hydro-power-designer-v1-1/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SILVA, B. C. Hidrologia II - Propagação de Cheias em Reservatório. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/3508116/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SIMAHPP 5. Hydropower Projects Feasibility Simulator. Versão 5.0.1: HydroXpert, 2016. Disponível em: <http://hydroxpert.com/simahpp/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SIMONE, G. A. Centrais e Aproveitamento Hidrelétricos: Uma introdução ao estudo. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2000.

SMI. Smart Mini-Idro. Ricerca sul Sistema Energetico SpA (RSE). Disponível em: <https://www.rse-web.it/prodotti/prodotto/129>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C. Centrais Hidrelétricas: Implantação e Comissionamento. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

SQLITE. SQLite Consortium. Disponível em <https://www.sqlite.org/index.html>. Acesso em: 07 jan. 2022.

SSSHPE. Software System for Small Hydropower Project Evaluation. IWB Hydroplan Gopa, 1993. Disponível em: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/10.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

YAN, L. L. *et al.* Custom application of PCS software development platform on EAST. **Fusion Engineering and Design**, v. 166, p. 112314, 2021.