

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SEE APP - APLICAÇÃO DE USO
PEDAGÓGICO PARA DISCIPLINAS DE
SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA**

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Laís Brum Menezes

Cachoeira do Sul, RS, Brasil

2022

SEE APP - APLICAÇÃO DE USO PEDAGÓGICO PARA DISCIPLINAS DE SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

Laís Brum Menezes

Projeto apresentado ao componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso I do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de

Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Cauduro Gastaldini

Cachoeira do Sul, RS, Brasil

2022

**Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul
Curso de Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso

**SEE APP - APLICAÇÃO DE USO PEDAGÓGICO PARA DISCIPLINAS
DE SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA**

elaborado por
Laís Brum Menezes

como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica

COMISSÃO EXAMINADORA:

Cristiane Cauduro Gastaldini, Prof^a. Dr^a.
(Presidente/Orientadora)

Criciéle Castro Martins, Prof^a. Dr^a. (UFSM)

Dion Lenon Prediger Feil, Prof^o. Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, 07-11(linha72main) de Fevereiro de 2022.

RESUMO

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

SEE APP - APLICAÇÃO DE USO PEDAGÓGICO PARA DISCIPLINAS DE SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

AUTORA: LAÍS BRUM MENEZES

ORIENTADORA: CRISTIANE CAUDURO GASTALDINI

O presente projeto de trabalho de conclusão de curso surgiu com a motivação do uso de tecnologias no âmbito universitário e possui como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta didática que sirva como suporte aos acadêmicos da disciplina de Subestações de Energia Elétrica. A interface inicial contará com uma barra de menus contendo os itens necessários para a navegação, tais como: abrir arquivos, interagir com os modelos de barramento ou requisitar ajuda.

Para isso, foram realizadas pesquisas exploratórias em ferramentas computacionais já existentes sobre o tema, além do suporte bibliográfico sobre as manobras de proteção e subestações. Decidindo-se a utilização do pacote Tkinter, que acompanha a distribuição oficial do interpretador de licença livre Python, sendo responsável pela interface gráfica com o usuário. As manobras serão analisadas através de funções criadas por *script* no Python.

Espera-se que o êxito do trabalho seja alcançado através da construção de uma aplicação didática que proporcione ao usuário as demonstrações de manobras na planta, facilitando e proporcionando o entendimento dos diferentes equipamentos que compõem uma subestação, visto que as ferramentas pedagógicas utilizadas anteriormente não são bem desenvolvidas para atender as necessidades da disciplina.

O aplicativo desenvolvido será disponibilizado para *download*, para uso pessoal e/ou acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, bem como para o público em geral que possua interesse na área e que de alguma maneira irão contribuir no repositório remoto, através da plataforma de hospedagem na internet GitHub.com, onde fornece controle de acesso e vários recursos de colaboração.

Palavras-chave: Subestações. Aplicação Pedagógica. Python.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Tipos de Elementos	15
Figura 3.2 – Diagrama Unifilar Barramento Simples.....	18
Figura 3.3 – Proteção Barramento Simples com Barra de Transferência	19
Figura 3.4 – Proteção Barramento Simples Com Seccionamento de Barra	20
Figura 3.5 – Proteção Barramento Simples Com Geração Auxiliar	21
Figura 3.6 – Proteção Barramento Duplo a Quatro Chaves	22
Figura 3.7 – Diagrama Unifilar Barramento Disjuntor Duplo.....	23
Figura 3.8 – Diagrama Unifilar Barramento Duplo e Disjuntor e Meio.....	24
Figura 3.9 – Diagrama Unifilar Barramento Anel.....	25
Figura 4.1 – Primeiro contato com a GUI	27
Figura A.1 – Fluxograma da Aplicação Educacional	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GUI	Graphic User Interface
IDE	Integrated Development Environment
GPL	General Public License
OOP	Object-Oriented Programming
SEE	Subestações de Energia Elétrica
GLP	General Public License
OOP	Object-Oriented Programming (Programação Orientada a Objeto)
VBA	Visual Basic for Applications
SQL	Structured Query Language
SEP	Sistemas Elétricos de Potência
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Justificativa	8
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo Geral	8
1.2.2 Objetivo Específico	9
1.3 Metodologia	9
1.3.1 Cronograma	10
1.4 Estrutura do Trabalho	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 Ferramentas Computacionais	12
2.1.1 Ferramenta Didática de Subestações Elétricas SEUL	12
2.1.2 FEUPowerTool: ferramenta pedagógica para manobras em subestações	13
2.1.3 Simulador de uma subestação elétrica para ensino de princípios básicos de eletricidade	13
2.1.4 Aplicação Informática para Dimensionamento de Barramentos em Subestações	14
2.1.5 AUTOMAÇÃO DE MANOBRAS EM SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	14
3 SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA	15
3.1 Tipos de Elementos	15
3.1.1 Transformador de Potência	16
3.1.2 Transformador de Corrente (TC)	16
3.1.3 Transformador de Potencial (TP)	16
3.1.4 Relé	16
3.1.5 Disjuntor	16
3.1.6 Chave	16
3.1.7 Condutor	17
3.1.8 Barra	17
3.2 Tipos de Barramentos	17
3.2.1 Barramento Simples	17
3.2.2 Barramento Simples com Barra de Transferência	18
3.2.3 Barramento Simples Com Seccionamento de Barra	19
3.2.4 Barramento Simples com Geração Auxiliar	20
3.2.5 Barramento Duplo a Quatro Chaves	21
3.2.6 Barramento Disjuntor Duplo	23
3.2.7 Barramento Duplo e Disjuntor e Meio	24
3.2.8 Barramento em Anel	25
4 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO PEDAGÓGICA	26
4.1 Linguagem de Programação Python	26
4.1.1 Interface Gráfica	26
4.2 Janelas	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	29
APÊNDICES	31

1 INTRODUÇÃO

Os cursos de Engenharia elétrica trabalham com os estudos e aplicações da eletricidade, eletromagnetismo e eletrônica, sendo divididas em várias subáreas, como: Sistemas de energia elétrica ou sistemas de potência; Sistemas de eletrônica de potência; Sistemas de controle e automação; Sistemas de eletrônica e instrumentação; Sistemas de microeletrônica; Sistemas de telecomunicações; Sistemas biomédicos.

Segundo Macedo et al. (2012), hoje em dia, a comunicação e a educação encontram-se interligadas no mundo digital. Por isso, professores e alunos devem utilizar, adequadamente, os recursos dessas novas tecnologias, explorando seu potencial pedagógico e utilizando, de forma positiva, esses novos ambientes de ensino e aprendizagem.

A preocupação com a formação acadêmica dos discentes da disciplina Subestações de Energia Elétrica foi a proposta principal deste trabalho. As aulas ministradas nos semestres anteriores, utilizando softwares de simulação não didáticos, como o MGA Power Simulator, ou não apropriados para a disciplina, como o CAdE SIMU, trouxe a motivação para a implementação de uma ferramenta pedagógica que atendesse as necessidades básicas desta disciplina, pelo fato das tecnologias nesta área serem escassas e/ou não atenderem as necessidades da disciplina.

1.1 Justificativa

A proposta deste trabalho é utilizar um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - Integrated Development Environment) para executar a construção de uma aplicação didática, com uma interface gráfica do usuário (GUI – Graphic User Interface), capaz de proporcionar ao usuário demonstrações de manobras na planta, apresentando os diferentes equipamentos que compõem uma subestação, e seus arranjos físicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é o desenvolvimento de uma aplicação didática que dê suporte à disciplina de Subestações de Energia Elétrica. Além disso, espera-se que esta facilite no processo de ensino-aprendizagem na UFSM, campus Cachoeira do Sul.

1.2.2 Objetivo Específico

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Estudo elaborado sobre subestações, seus arranjos e suas manobras, bem como uma consulta com relação as exigências que o algoritmo deveria atender.
- Definir as ferramentas utilizadas para a construção do projeto e a estrutura da interface com o utilizador.
- Desenvolver a aplicação pedagógico utilizando ferramentas de código livre e aberto.
- Testar a aplicação nas disciplinas de Subestações de Energia Elétrica e avaliar o interesse e aprendizado dos alunos o seu uso.
- Disponibilizar o aplicativo para uso geral em uma plataforma na internet.

1.3 Metodologia

O aplicativo será desenvolvido utilizando o pacote Tkinter, uma biblioteca padrão da linguagem de programação Python. Esta biblioteca será responsável por proporcionar a interface gráfica com o usuário, formando uma janela interativa. Para o desenvolvimento do *software* será utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) PyCharm Community Edition, lançada sob a licença Apache.

A janela principal do aplicativo conterà uma barra de menus, anexada ao topo desta janela, logo abaixo da barra de títulos. Os itens da barra proverão funcionalidades a janelas específicas ou à aplicação, tais como: abrir arquivos, interagir com os modelos de barramento ou requisitar ajuda. O menu de modelos dos barramentos conterà os submenus das manobras para cada modelo de barramento (Ver Figura A.1).

Ao selecionar o tipo de manobra de proteção que será realizado, o usuário terá a visualização do diagrama unifilar do barramento escolhido, além de caixas de seleção onde serão selecionados os equipamentos que serão utilizados na manobra de proteção. Internamente, o aplicativo irá realizar os procedimentos de checagem necessário para retornar ao usuário se a manobra de proteção foi bem sucedida ou não.

Os diagramas unifilares utilizados no aplicativo serão desenvolvidos em um editor de gráficos vetoriais gratuito e de código aberto, LibreOffice Draw, e as imagens geradas serão importadas para o aplicativo.

O aplicativo desenvolvido será disponibilizado para *download*, tanto para uso pessoal e/ou acadêmico quanto para contribuições do repositório remoto, através da plataforma de hospedagem na internet GitHub.com, onde fornece controle de acesso e vários recursos de colaboração.

1.3.1 Cronograma

1ª Etapa: Revisão da literatura a respeito das ferramentas didáticas já existentes, sendo utilizadas na didática de Subestações de Energia Elétrica.

2ª Etapa: Estudo elaborado sobre subestações de energia elétrica, seus arranjos e suas manobras.

3ª Etapa: Definição do ambiente de aprendizagem almejado e análise de viabilidade.

4ª Etapa: Planejamento e desenvolvimento da interface gráfica do usuário.

5ª Etapa: Desenvolvimento dos diagramas unifilares correspondentes aos tipos de barramentos de uma subestação.

6ª Etapa: Implementação dos tipos de barramentos e suas manobras na aplicação pedagógica.

7ª Etapa: Realização da avaliação da qualidade, tanto formativa quanto somativa, da aplicação pedagógica.

8ª Etapa: Publicação do aplicativo pedagógico em uma plataforma de repositório remoto.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em 05 capítulos. O presente capítulo destina-se a uma breve introdução da necessidade de desenvolvimento de uma aplicação pedagógica para a didática de subestações de energia elétrica, a justificativa e motivação para sua realização, os objetivos almejados e a metodologia.

O capítulo 2 é dedicado à apresentar uma breve revisão da literatura a respeito das ferramentas didáticas já existentes. O capítulo 3 apresenta, brevemente, uma explicação sobre subestações de energia elétrica, seus elementos e seus modelos de barramentos.

O capítulo 4 apresenta detalha o desenvolvimento de todas as funcionalidades que o aplicativo oferece, além de apresentar um exemplo simulado. Por fim, o capítulo 5 apresenta as

conclusões deste trabalho e sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma breve revisão da literatura a respeito das ferramentas didáticas já existentes, sendo utilizadas na didática de Subestações de Energia Elétrica.

2.1 Ferramentas Computacionais

Segundo Córdova Júnior (2018), os softwares são categorizados em dois grandes grupos: os softwares básicos e os softwares aplicativos. Os softwares básicos são programas que gerenciam todo o funcionamento do computador, além de fornecer uma interface com o usuário. Os softwares aplicativos são programas com funções específicas, que nos auxiliam a desenvolver alguma tarefa, como editar um texto ou realizar um cálculo.

Segundo Tajra (2012), a utilização de um software está diretamente relacionada à capacidade de percepção do professor em relacionar a tecnologia à sua proposta educacional. Por meio dos softwares podemos ensinar, aprender, simular, estimular a curiosidade ou, simplesmente, produzir trabalhos com qualidade.

As ferramentas pedagógicas, de forma geral, servem para facilitar o processo de aprendizagem, e esse termo depende da intenção e da finalidade de quem o utiliza, e contribuir com a educação efetiva do aluno. Dito isto, serão apresentadas algumas ferramentas

2.1.1 Ferramenta Didática de Subestações Elétricas SEUL

Diante da importância do aprendizado, entendimento e da necessidade de executar um projeto de uma subestação foi criada a *Ferramenta Didática de Subestações Elétricas, SUEL* que tem como objetivo agregar, de forma prática e fácil, as informações relevantes quanto aos diferentes tipos de arranjos dessas plantas (HOLANDA, 2016).

Para o desenvolvimento da ferramenta didática foi utilizado o programa *Adobe Animate CC 2015* desenvolvido pela empresa norte-americana *Adobe Systems Incorporated* (HOLANDA, 2016).

Segundo Holanda (2016) o *Adobe Animate CC* é uma plataforma de desenvolvimento baseado em linha de tempo, onde é possível criar animações vetoriais, conteúdo multimídia, aplicativos e jogos; possui um ambiente gráfico com ferramentas de desenho e ilustração, e um ambiente de programação, que permite adicionar interatividade e manipulação de dados ao

conteúdo desenvolvido.

2.1.2 FEUPowerTool: ferramenta pedagógica para manobras em subestações

Segundo Ramos (2010), a criação de uma aplicação didática para a simulação de manobras de subestações [...] nasce pelo fato das tecnologias de apoio e suporte à formação nesta área serem escassas e obsoletas.

Existiu a necessidade de criar uma ferramenta que permitisse maior liberdade tanto para o utilizador como para o programador (RAMOS et al., 2010). Sendo que esta "liberdade" só se consegue com um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE - Integrated Development Environment). Assim é possível desenvolver um ambiente gráfico que possibilita a criação de qualquer circuito, com a noção de seccionador, que distingue um seccionador de um disjuntor e detecta as manobras efetuadas durante a simulação (RAMOS et al., 2010).

Segundo Lazarus and Free Pascal Team, Lazarus é um IDE compatível com multiplataforma Delphi para Free Pascal. Free Pascal é um compilador de Licença Pública Geral (GLP - General Public License) projetado para ser capaz de entender e compilar a sintaxe Delphi, que é uma Programação Orientada a Objetos (OOP - Object-Oriented Programming). Foi este o programa escolhido, para o desenvolvimento da aplicação (RAMOS et al., 2010).

2.1.3 Simulador de uma subestação elétrica para ensino de princípios básicos de eletricidade

O trabalho de Silva (2017) propões o desenvolvimento de um simulador com base no sistema de transmissão de energia da Eletrobrás/Eletronorte, onde o aluno poderá através de uma tela simulada do SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) fazer operações com os disjuntores, com abertura e fechamento de carga, integrando-o a uma plataforma Arduino, onde este irá interpretar os comandos da parte do *software* do simulador e convertê-los em sinais analógicos que acionarão o LED que representará a passagem de carga, em caso de ativado, ou não em caso de desativado para um determinado centro urbano.

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do projeto foi o ambiente 2D da plataforma Unity, que segundo Silva (2017) permite a criação de jogos e simuladores em 2D, apresentando uma interface muito simples e amigável, tendo como objetivo permitir a facilidade no desenvolvimento de jogos ou simuladores de diversos tipos e ainda outros sistema de visualização.

2.1.4 Aplicação Informática para Dimensionamento de Barramentos em Subestações

O trabalho de Tavares (2015) propõem a construção de uma aplicação informática, na qual efetuará automaticamente os cálculos necessários à validação dos barramentos escolhido pelo utilizador.

O *software* a ser utilizado para construção da aplicação de dimensionamento dos barramentos foi o *Microsoft Access* (TAVARES, 2015). Segundo Tavares (2015), esta escolha deveu-se ao fato de as características do *software* irem exatamente ao encontro dos objetivos propostos para a aplicação, pois trata-se de um *software* de criação e gestão de base de dados, amplamente utilizado no mercado, de fácil interação com o utilizador.

A configuração de formulários e programas de ações será realizada em linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) e *Structured Query Language* (SQL) (TAVARES, 2015).

2.1.5 AUTOMAÇÃO DE MANOBRAS EM SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O trabalho de Dias (2017) propõem uma estratégia baseada na automação de etapas da tarefa para minimizar o erro durante a realização de manobras em um SEP, concretizada a partir do desenvolvimento de uma ferramenta de software.

Para o desenvolvimento das funcionalidades da interface foi utilizada a linguagem de programação de alto nível Python [www.python.org e Barry (2011)] que se fundamenta na abordagem orientada a objetos, sendo esta escolha motivada pela simplicidade dos códigos e por ser uma linguagem nativa do sistema operacional Linux, este utilizado como sistema de suporte ao supervisor SAGE (DIAS et al., 2017).

3 SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

Todo sistema de potência é constituído de três diferentes segmentos: geração, transmissão e distribuição (MAMEDE FILHO, 2021). Para que a energia gerada no primeiro segmento chegue ao seu destino final, que é o consumidor que está ligado no sistema de distribuição, é necessário também que exista em cada um desses segmentos uma subestação que possa elevar e reduzir a tensão em diferentes níveis (MAMEDE FILHO, 2021).

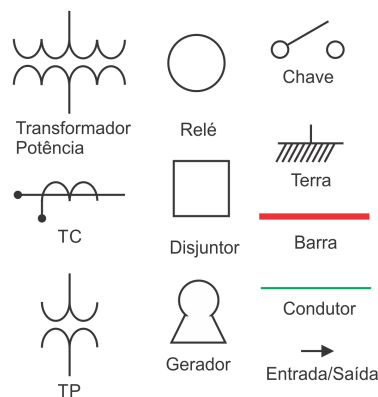
Segundo Barros et al. (2009) a subestação primária compreende instalações elétricas e civis, e é destinada a alojar medição, proteção e transformação. Formada por um conjunto de equipamentos que devem atender às necessidades de fornecimento de energia elétrica das instalações por ela alimentadas, permitindo sempre a flexibilidade de manobras, a acessibilidade para manutenções, a confiabilidade quanto à proteção e à operação, e a segurança tanto para os equipamentos quanto para o pessoal envolvido.

Uma subestação se desenvolve em várias etapas, sendo uma delas a definição do barramento que será instalada na futura subestação. Também são definidas as características do sistema de proteção e controle, bem como as principais características dos equipamentos elétricos do pátio de manobras.

3.1 Tipos de Elementos

Na figura 3.1 são apresentados os símbolos dos elementos de uma subestação elétrica que serão apresentados nos barramentos apresentados na sessão 3.2. A seguir serão apresentados, resumidamente, a definição destes elementos.

Figura 3.1 – Tipos de Elementos



Fonte: Autora

3.1.1 Transformador de Potência

Os transformadores trifásicos ou de potência são destinados a rebaixar ou elevar a tensão e, conseqüentemente, elevar ou reduzir a corrente de um circuito, de modo que não se altere a potência do circuito (FRONTIN et al., 2013).

3.1.2 Transformador de Corrente (TC)

Transformador de corrente: equipamento responsável pelo suprimento da corrente ao elemento de avaliação da corrente (A) que se quer controlar (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000).

3.1.3 Transformador de Potencial (TP)

Transformador de potencial: equipamento responsável pelo fornecimento da tensão ao elemento de avaliação da tensão (A) que se quer controlar (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000).

3.1.4 Relé

Entende-se por relé de proteção de sobrecorrente aquele que responde à corrente que flui no elemento do sistema que se quer proteger quando o módulo dessa corrente supera o valor previamente ajustado (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000).

3.1.5 Disjuntor

Os disjuntores utilizados na manobra de reatores em derivação devem ser capazes de abrir pequenas correntes indutivas e ser especificados com dispositivos de manobra controlada (FRONTIN et al., 2013).

3.1.6 Chave

Uma das principais funções do seccionador de alta tensão é garantir uma distância segura de isolamento após a abertura do equipamento de bloqueio da corrente principal, geralmente um disjuntor, propiciando que equipamentos ou linhas de transmissão, por exemplo, possam ser seguramente isolados (FRONTIN et al., 2013).

3.1.7 Condutor

Segundo Fonseca (2009) os condutores de um barramento, tem normalmente a forma de uma barra. Conceitua-se os barramentos como sendo um grupo de condutores elétricos, destinados a permitir o transmissor de altas correntes entre dois pontos, ou a proporcionar uma distribuição de correntes com várias alimentações e múltiplas saídas.

3.1.8 Barra

O barramento principal de uma subestação concentra uma grande quantidade de potência e muitas derivações para atendimento das cargas elétricas, [...] a proteção deve ser idealizada para garantir que somente defeitos internos ao barramento possam afetar a sua continuidade operacional e as demais faltas nas derivações sejam eliminadas coordenadamente para separar a parte defeituosa (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000).

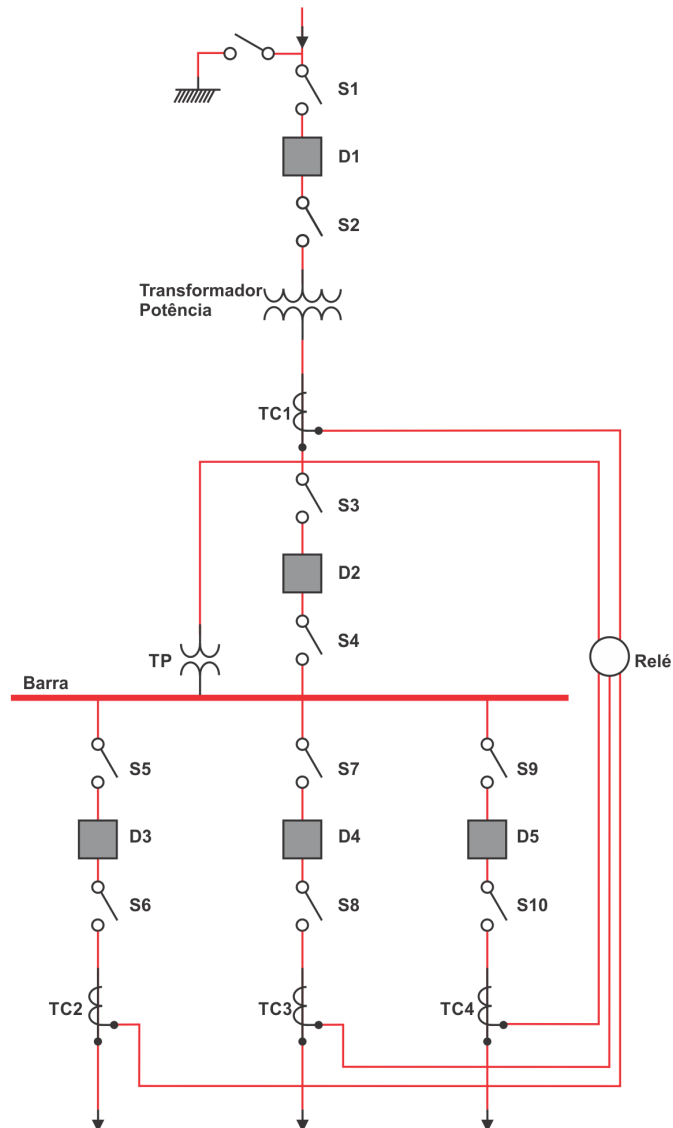
3.2 Tipos de Barramentos

As subestações são dotadas de barramentos nos quais são conectados tanto os circuitos alimentadores como os circuitos de distribuição, incluindo os transformadores de potência (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000). Existem vários tipos de arranjo de barramentos primários e secundários, que [...] deverá ser selecionado em função das características da carga, dos níveis de confiabilidade e continuidade desejados, do nível de flexibilidade de manobra e recomposição da subestação (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000).

3.2.1 Barramento Simples

O arranjo do barramento simples no primário é o mais básico e econômico de uma subestação. Sendo utilizado para munir subestações com tensão de até 69 kV, de pequeno porte. Sua confiabilidade é baixa, comparado aos demais, devido à perdas dos circuitos, quando ocorre incidentes na subtransmissão (Ver Figura 3.2).

Figura 3.2 – Diagrama Unifilar Barramento Simples

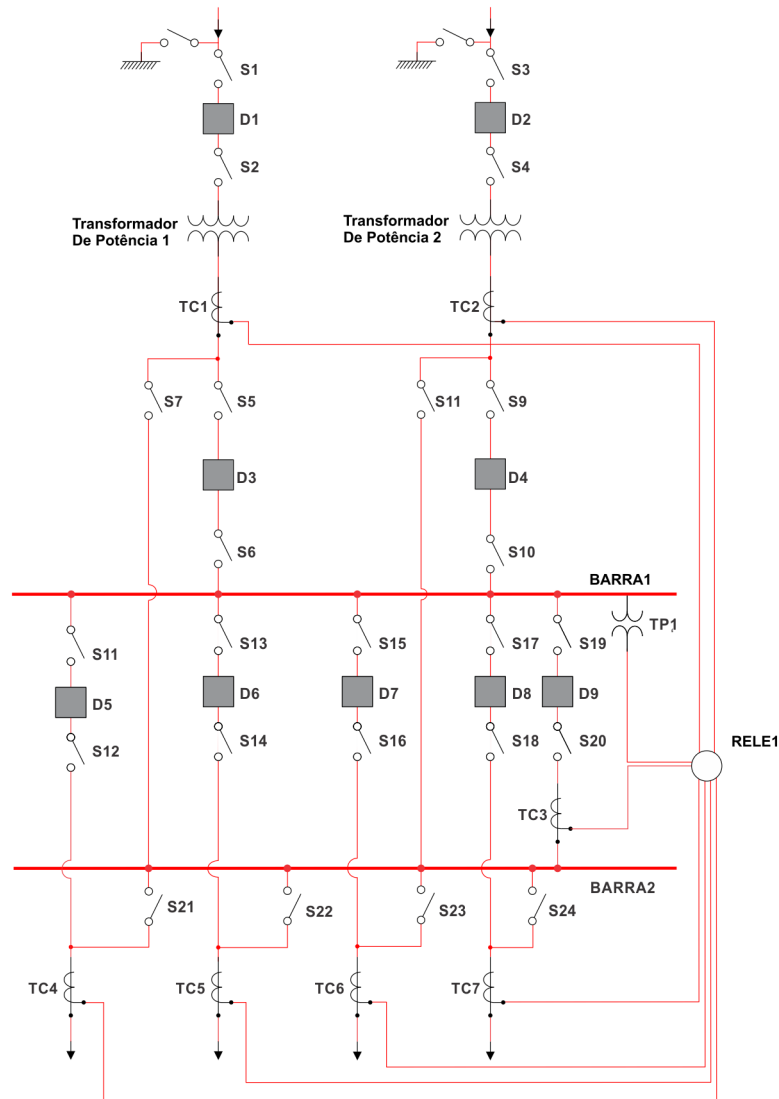


Fonte: Autora

3.2.2 Barramento Simples com Barra de Transferência

O barramento simples com barra de transferência, apresentado na figura 3.3, é utilizada em subestações de média e alta tensão. As manobras são realizadas sem que haja desligamentos e somente pode ser liberado um disjuntor de cada vez (FRONTIN et al., 2013). Esta configuração apresenta certa flexibilidade para manutenção e reparos, mas sua flexibilidade operativa é limitada, pois opera somente um barramento que limita a sua disponibilidade para ocorrência de falhas na barra e seccionadoras (AZEVEDO, 2015).

Figura 3.3 – Proteção Barramento Simples com Barra de Transferência

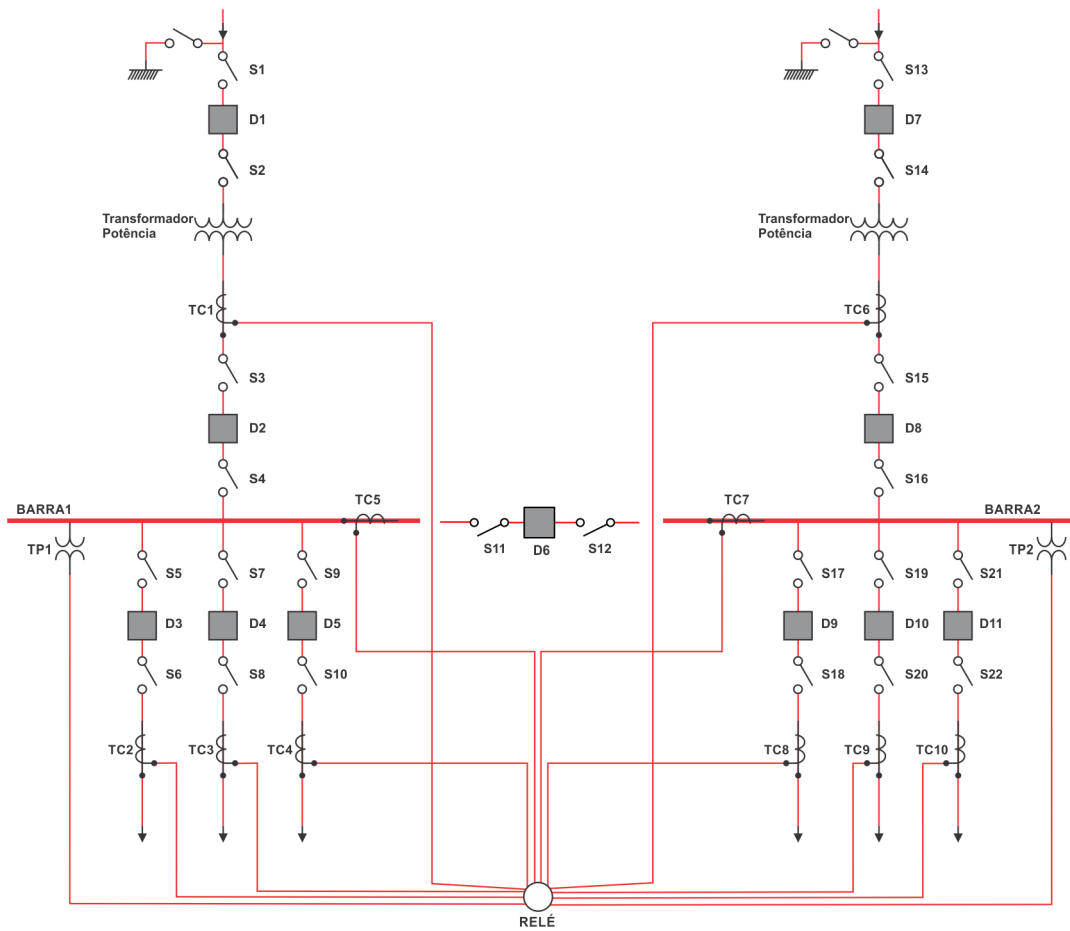


Fonte: Autora

3.2.3 Barramento Simples Com Seccionamento de Barra

O barramento simples com seccionamento de barra, apresentado na figura 3.4, é indicado para a condição de alimentação da subestação de dois ou mais circuitos de alta tensão e/ou quando há necessidade de se utilizar uma grande quantidade de circuitos de distribuição (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000). A flexibilidade para a manutenção das seções de barras tem uma sensível melhora, mantendo-se a subestação parcialmente em operação (FRONTIN et al., 2013).

Figura 3.4 – Proteção Barramento Simples Com Seccionamento de Barra

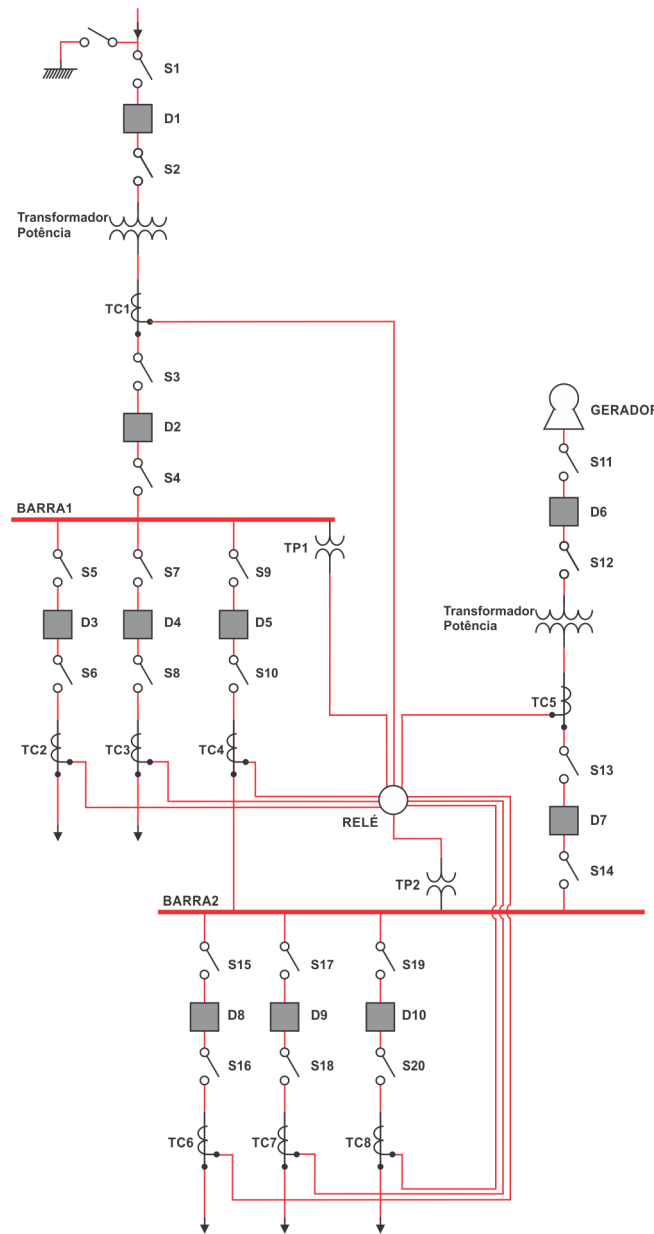


Fonte: Autora

3.2.4 Barramento Simples com Geração Auxiliar

O barramento simples com geração auxiliar é semelhante ao arranjo anterior, com a diferença da fonte de geração auxiliar estar conectada à um dos barramentos (Ver Figura 3.5). É indicado quando se necessita operar uma usina de geração termelétrica para funcionamento em emergência, na ponta de carga ou no controle da demanda por injeção de geração (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000).

Figura 3.5 – Proteção Barramento Simples Com Geração Auxiliar

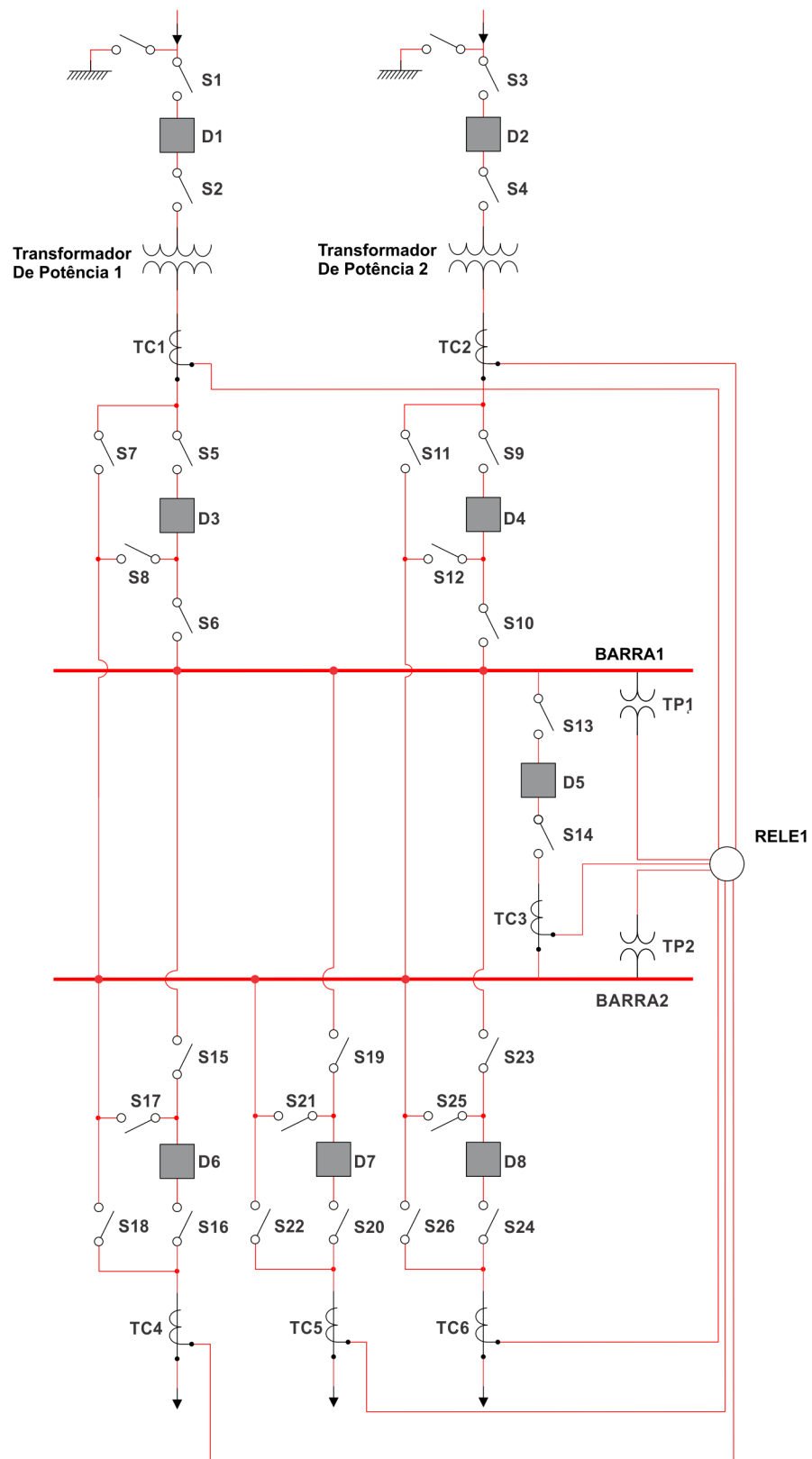


Fonte: Autora

3.2.5 Barramento Duplo a Quatro Chaves

O barramento duplo a quatro chaves, apresentado na figura 3.6, possui boa flexibilidade operativa e facilidades para a expansão, uma vez que se pode liberar temporariamente uma barra e não provocar desligamentos de circuitos do sistema (HOLANDA, 2016). Nesta configuração, acrescenta-se uma chave de *bypass* em cada *bay*, de forma que todo disjuntor possa ser liberado para manutenção e reparos sem que seja necessário desligar o circuito correspondente (FRONTIN et al., 2013).

Figura 3.6 – Proteção Barramento Duplo a Quatro Chaves

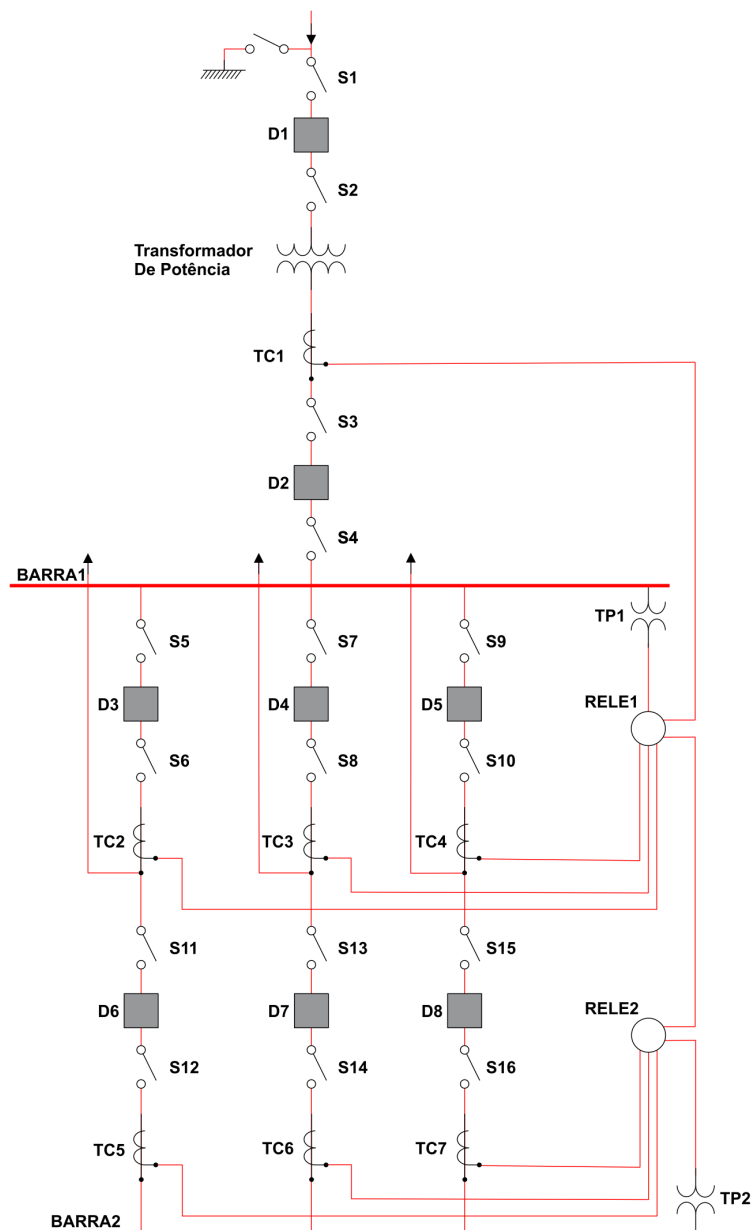


Fonte: Autora

3.2.6 Barramento Disjuntor Duplo

O barramento disjuntor duplo, apresentado na figura 3.7, é caracterizado pela conexão dos circuitos de distribuição no ponto central entre os dois barramentos (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000). Neste barramento a carga associada não é interrompida, caso ocorra um defeito em qualquer disjuntor dos circuitos secundários.

Figura 3.7 – Diagrama Unifilar Barramento Disjuntor Duplo

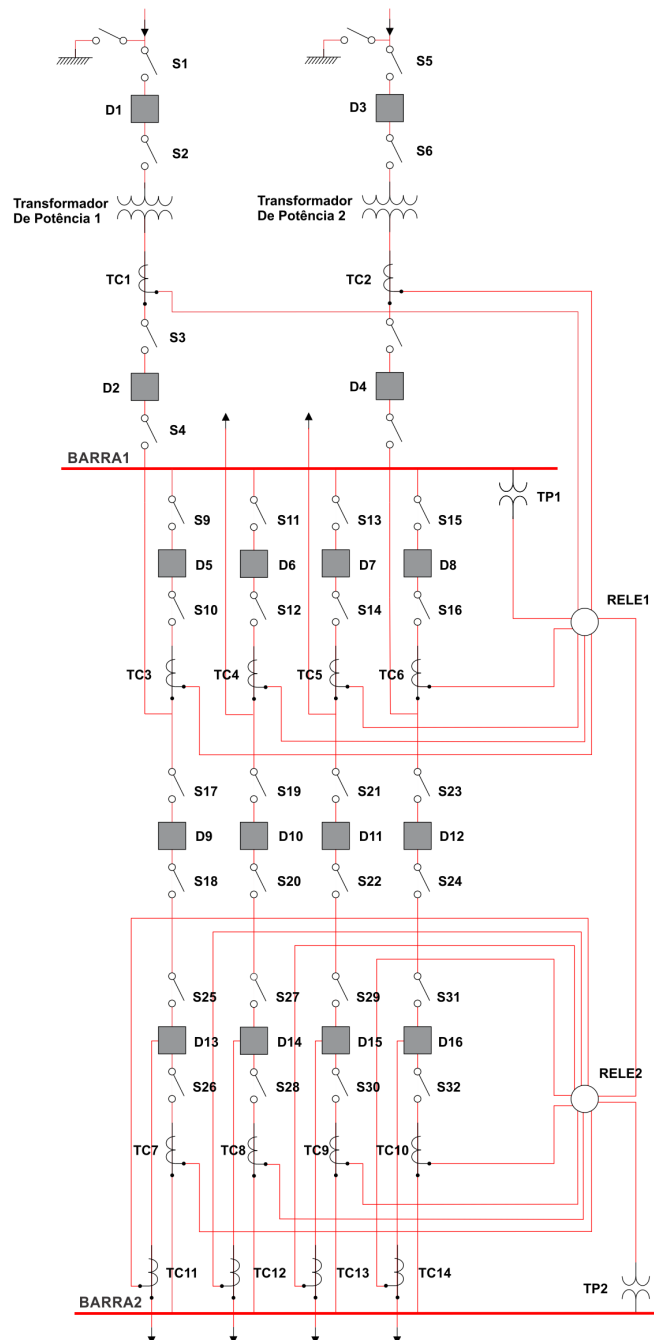


Fonte: Autora

3.2.7 Barramento Duplo e Disjuntor e Meio

No barramento duplo e disjuntor e meio, apresentado na figura 3.8, cada circuito pode ser alimentado por qualquer um dos barramentos por meio de um disjuntor central, que pode ser compartilhado por dois circuitos (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2000).

Figura 3.8 – Diagrama Unifilar Barramento Duplo e Disjuntor e Meio

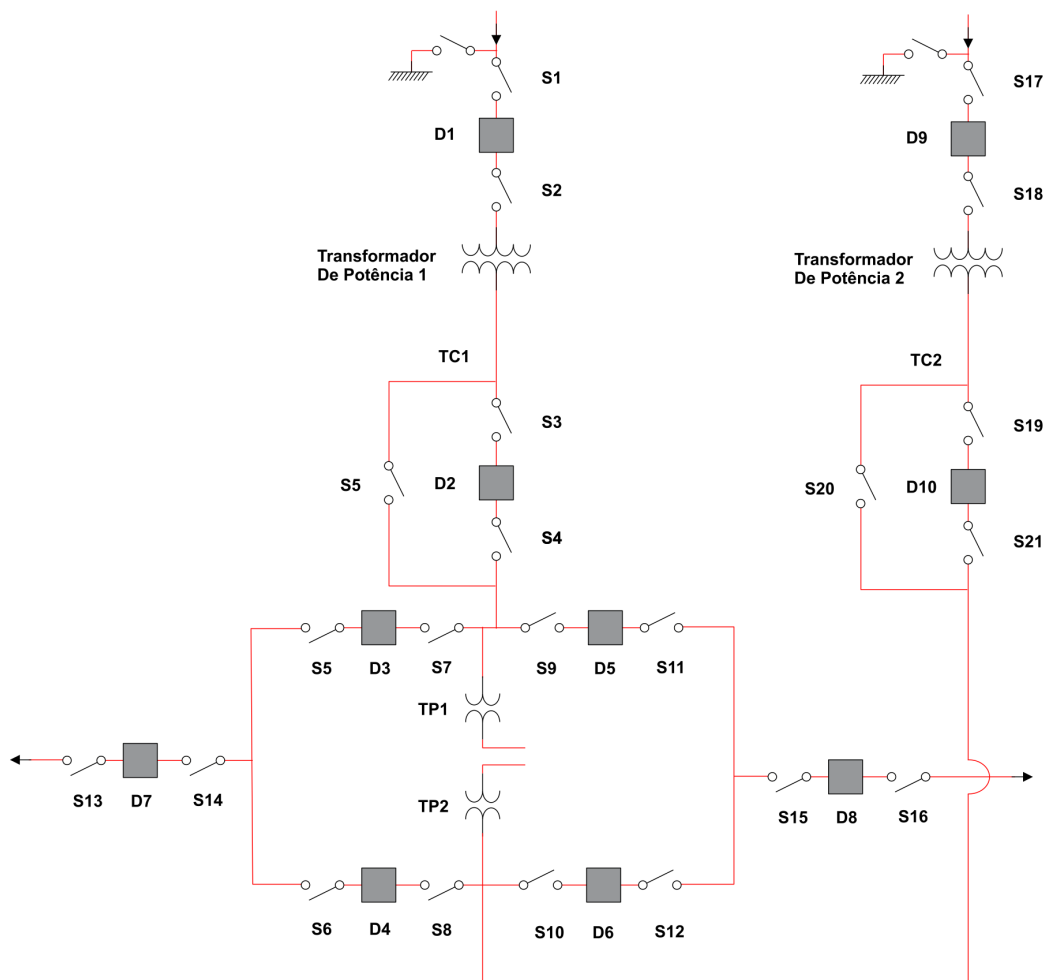


Fonte: Autora

3.2.8 Barramento em Anel

Nesta configuração de barramento anel, embora econômica e flexível, tem o inconveniente de expor o sistema elétrico devido a falhas externas ao pátio em segundas contingências (FRONTIN et al., 2013). Segundo Holanda (2016), apresenta a vantagem de dividir as cargas e controle do nível de falhas. Por outro lado, requer maior área de pátio em relação ao esquema de barra simples equivalente e quando um disjuntor estiver em manutenção, a abertura do outro disjuntor não adjacente irá dividir o anel, podendo causar sérias perturbações no sistema.

Figura 3.9 – Diagrama Unifilar Barramento Anel



Fonte: Autora

4 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO PEDAGÓGICA

Este capítulo apresenta o desenvolvimento das funcionalidades que o aplicativo pedagógico deve oferecer, de modo a facilitar à interação do usuário com o mesmo. Dentre as plataformas citadas no Capítulo 2, a que permite maior liberdade de criação e não necessitar de uma licença paga, é a linguagem de programação Python.

4.1 Linguagem de Programação Python

Python é uma linguagem de programação interpretada, ou seja, ao escrever um algoritmo, este não será traduzido para uma linguagem de máquina, e sim “interpretado” por outro programa, denominado interpretador (SOUBHIA et al., 2019).

Python é uma linguagem Orientada a Objetos, um paradigma que facilita entre outras coisas o controle sobre a estabilidade dos projetos quando estes começam a tomar grandes proporções (LABAKI; WOISKI, 2003)

A linguagem inclui diversas estruturas de alto nível (listas, dicionários, data/hora, complexos e outras) e uma vasta coleção de módulos prontos para uso, além de *frameworks* de terceiros que podem ser adicionados (BORGES, 2014).

4.1.1 Interface Gráfica

As interfaces gráficas do usuário (*GUI – Graphic User Interface*) são bastante populares no uso de softwares em geral, e os programadores devem estar aptos a trabalhar com a criação de interfaces, já que torna o uso mais fácil além de aumentar a produtividade (OTÁVIO, 2016).

Para quem trabalha com desenvolvimento em Python, existem diversos *frameworks* e ferramentas que permitem a criação interfaces gráficas (OTÁVIO, 2016). Algumas ferramentas proeminentes de aplicativos de Python para desenvolvimento de GUI são PyQt, Tkinter, wxWidgets, Python GTK + e Kivy (INFO, 2021). A ferramenta utilizada para o desenvolvimento da interface gráfica é a Tkinter, por possuir uma vasta documentação.

4.2 Janelas

Alguns conceitos muito comuns abordados em GUIs são *Container*, *Widget*, *Event Handler* e *Event Loop*

- Container significa recipiente, e tem como objetivo organizar e guardar objetos na janela.
- Widget significa ferramenta, podendo ser um componente qualquer na tela, como um botão, uma caixa de seleção, uma caixa de texto, etc.
- Event Handler significa manipulador de eventos, e servem para executar algum tipo de rotina, como uma ação ao clicar em um botão.
- Event Loop significa ciclo de eventos, e verifica constantemente se outro evento foi acionado, executando uma rotina correspondente, caso a hipótese seja verdadeira.

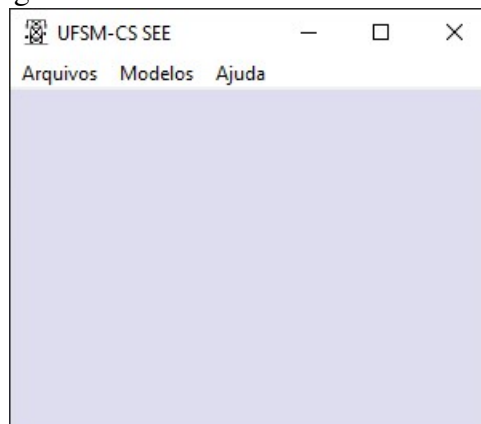
Para a criação da interface principal são importado todos os componentes do módulo Tkinter, depois instanciamos a classe *Tk()* através da variável *app*, permitindo que os *widgets* possam ser utilizados, e para finalizar é chamado o método *app.mainloop()*, o *event loop* que irá exibir a tela, caso contrário a interface não será exibida.

O usuário irá se deparar com uma janela contendo como componentes um ícone e uma barra de títulos, criados através dos métodos *app.iconbitmap()* e *app.title()*, respectivamente. Para fornecer comandos ao usuário será utilizado o *widget Menu()*, que será detalhado mais frente do trabalho. A seguir é apresentado o código da janela principal, criada com a intenção de ser o mais intuitiva possível. Pode ser vista na figura 4.1.

```
from tkinter import *

app = Tk()
app.title("UFSM-CS SEE")
app.iconbitmap("ufsm-see.ico")
barraMenu = Menu(app)
app.mainloop()
```

Figura 4.1 – Primeiro contato com a GUI



Fonte: Autora

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre ferramentas computacionais a partir de um comparativo a cerca de sua aplicabilidade frente as necessidades básicas da disciplina de Subestações de Energia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul.

Um desenvolvimento teórico se fez necessário para que os objetivos deste trabalho pudessem ser cumpridos, além de servir como uma referência bibliográfica complementar a teoria básica de proteção em subestações de energia elétrica. Visto que, o trabalho possui como objetivo principal o desenvolvimento de um aplicativo capaz de receber comandos de manobras de proteção em plantas modelos, e gerar simulações e análise do desempenho da manobra realizada.

Espera-se que para o Trabalho de Conclusão de Curso II o aplicativo esteja em total ou parcial funcionamento, a fim de cumprir com seu objetivo, apresentando os resultados das manobras de proteção.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, M. P. Arranjos de Subestações de Alta Tensão. **Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2015.
- BARROS, B. F. d.; GEDRA, R. L. **Cabine primária**: subestações de alta tensão de consumidor. 4.ed. São Paulo: Érica, 2009.
- BORGES, L. E. **Python para desenvolvedores**: aborda python 3.3. Rio de Janeiro: Novatec Editora, 2014.
- CÓRDOVA JUNIOR, R. S. **Fundamentos computacionais**. Porto Alegre: Sagah, 2018.
- DIAS, S. E. C. et al. **Automação de manobras em subestações de transmissão de energia elétrica**. 2017. 142p. Mestrado em Engenharia Elétrica — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- FONSECA, C. M. Dimensionamento de barramentos em subestações. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2009.
- FRONTIN, S. O. et al. **Equipamentos de alta tensão—prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas**. 1.ed. Brasília: Teixeira, 2013.
- HOLANDA, I. A. G. T. d. SUEL: ferramenta didática de subestações elétricas. **Universidade Federal de Campina Grande**, Campina Grande, 2016.
- INFO, W. **7 principais aplicações práticas de Python e dicas para iniciar uma carreira na área**. Acessado em 04 Jan. 2022, <https://br.atsit.in/archives/110078/>.
- LABAKI, J.; WOISKI, E. Introdução a Python—Módulo A. **Grupo Python, UNESP-Ilha Solteira**, Ilha Solteira, 2003.
- MACEDO, R. J.; DUARTE, M. d. A.; TEIXEIRA, N. G. Novas metodologias de ensino e aprendizagem aplicadas ao curso de Engenharia Elétrica: o foco do ensino no século xxi. **Artigo COBENGE**, Rio de Janeiro, 2012.
- MAMEDE FILHO, J. **Subestações de Alta Tensão**. 1.ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2021.

MAMEDE FILHO, J.; MAMEDE, D. R. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 2.ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2000.

OTÁVIO, J. **Tkinter**: interfaces gráficas em python. Acessado em 04 Jan. 2022, <https://www.devmedia.com.br/tkinter-interfaces-graficas-em-python/33956/>.

RAMOS, J. F. M. D. et al. FEUPowerTool: ferramenta pedagógica para manobras em subestações. **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**, Porto, 2010.

SILVA, H. A. B. d. et al. **Simulador de uma subestação elétrica para ensino de princípios básicos de eletricidade**. 2017. 100p. Mestrado em Computação Aplicada — Universidade Federal do Pará, Marabá.

SOUBHIA, D. A. L. et al. Python 101. **Universidade Federal de Santa Maria**, Cachoeira do Sul, 2019.

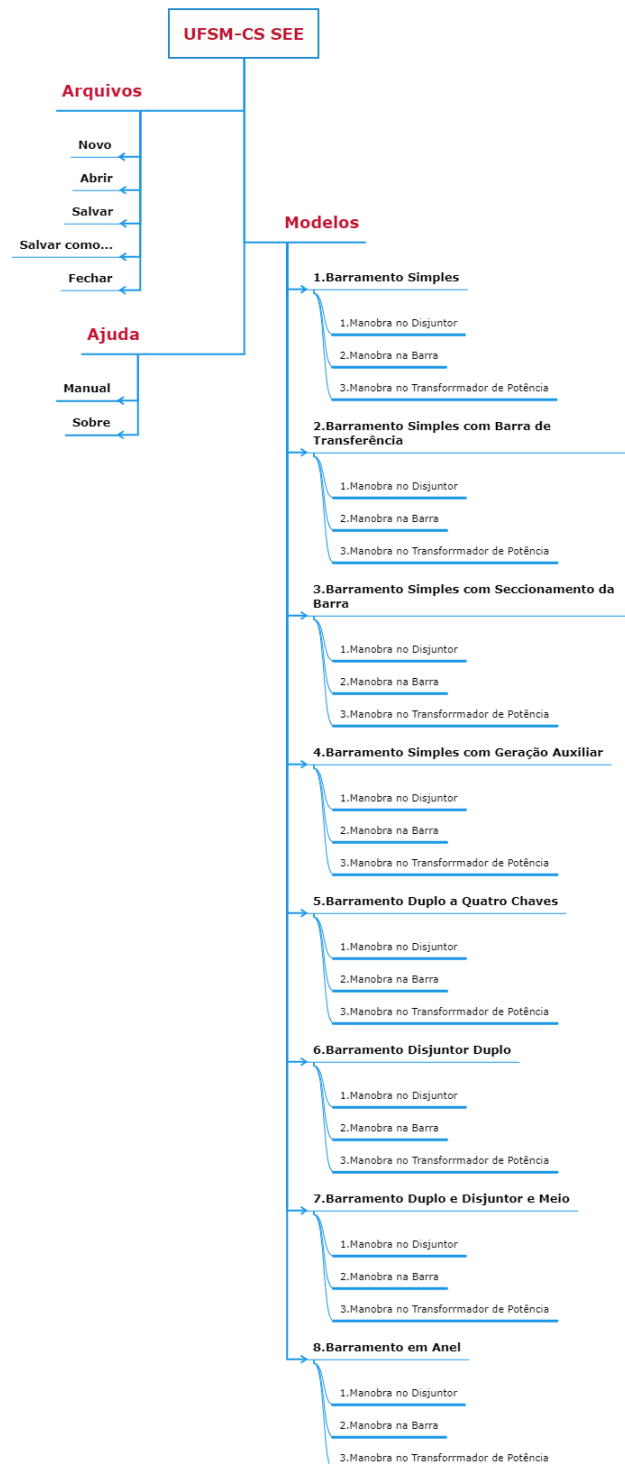
TAJRA, S. F. **Informática na Educação**: novas ferramentas pedagógicas para o professor na atualidade. 9.ed. São Paulo: Érica, 2012.

TAVARES, F. A. M. **Aplicação informática para dimensionamento de barramentos em subestações**. 2015. 165p. Mestrado em Engenharia Eletrotécnica — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fluxogramas

Figura A.1 – Fluxograma da Aplicação Educacional



Fonte: Autora