



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa
Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica

KIMBERLLY ALVES SANTOS

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SISTEMA DE
TRANSMISSÃO NÃO-HOMOGÊNEO BASEADA NA
TEORIA DAS ONDAS VIAJANTES**

Bom Jesus da Lapa–BA
Agosto de 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa
Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica

Kimberlly Alves Santos

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SISTEMA DE TRANSMISSÃO
NÃO-HOMOGÊNEO BASEADA NA TEORIA DAS ONDAS
VIAJANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira

Bom Jesus da Lapa–BA
Agosto de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S237

Santos, Kimberlly Alves

Localização de faltas em sistema de transmissão não-homogêneo baseada na Teoria das Ondas Viajantes. / Kimberlly Alves Santos. – 2025.

84f.: il.

Orientadora: Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira

TCC - Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2025.

1. Sistemas de distribuição. 2. Teoria das Ondas Viajantes. I. Oliveira, Andressa Pereira. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 621.319

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB

FOLHA DE APROVAÇÃO

KIMBERLLY ALVES SANTOS

LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SISTEMA DE TRANSMISSÃO NÃO-HOMOGÊNEO BASEADA NA TEORIA DAS ONDAS VIAJANTES

Esta monografia do Trabalho de Conclusão de Curso foi aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, aprovada em sua forma final pelo Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia.

Bom Jesus da Lapa, 01 de agosto de 2025

Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira (UFOB)
(Orientadora)

Prof. Dr. Manoel Messias Silva Júnior (UFOB)

Prof. Ma. Natália Lima De Oliveira Santos (UFOB)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu a bênção da vida e a oportunidade de renovar minhas forças a cada dia, iluminando meu caminho com esperança, sendo companhia nos momentos de vazio e sustentando-me diante das adversidades que a vida apresenta. Agradeço também aos meus mentores espirituais, que, entre os inúmeros caminhos e desafios da existência, me guiaram e influenciaram para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço infinitamente a minha família. Ao meu pai, Amilton, pelo incentivo constante em buscar meios de transformar e melhorar nossa realidade. À minha mãe, Aidê, por ser meu porto seguro em todas as circunstâncias. Ao meu irmão, Ademilton, pelo apoio incondicional, independentemente das situações. E à minha irmã, Indrid, por ser minha alma gêmea e companheira de vida.

Ao meu companheiro, Rafael, pela paciência, pelo apoio constante e pelo carinho dedicado. Obrigada por segurar minha mão a cada dia e por sempre me lembrar da minha capacidade. Sou grata por você ser uma das minhas maiores inspirações. Agradeço também à sua família, especialmente à Naraí e ao Reginaldo, que me acolheram com tanto carinho, fazendo-me sentir verdadeiramente em casa.

Aos meus queridos amigos Emily e Fialho, que tornaram essa caminhada mais leve, que me fizeram rir quando a vontade era de chorar, que me ergueram nos momentos mais difíceis e seguraram minha mão até o fim. Às minhas amigas Saliha, Eduarda e Beatriz, que são meu refúgio e conforto desde a infância. E aos meus parceiros felinos, Kira e Oreo, que me oferecem motivos diários para seguir adiante.

À minha professora e orientadora Ma. Andressa Pereira Oliveira, que me é símbolo de bondade e prova viva das palavras de Deus. Obrigada pelo incentivo, palavra positiva e pelo conhecimento compartilhado.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigada!

“No estudo da perfeição, começamos por vigiar a nós mesmos, corrigindo-nos em tudo aquilo que nos desagrada nos semelhantes.”

(Chico Xavier)

Resumo

O fornecimento de energia elétrica é importante para o funcionamento das sociedades modernas, sendo altamente dependente da eficiência e da continuidade das redes de transmissão. No entanto, as linhas de transmissão estão sujeitas a distúrbios que podem comprometer a estabilidade do sistema e a qualidade do fornecimento. Nesse cenário, a aplicação de métodos eficientes torna-se significativa para a identificação rápida e precisa das faltas, permitindo que o sistema seja reestabelecido rapidamente. Neste contexto, este trabalho aplicou a Teoria das Ondas Viajantes (TOV), em conjunto com o filtro *Differentiator-Smoother* (DS), para a localização de faltas em sistemas de transmissão não homogêneos, compostos por trechos aéreos e subterrâneos. A metodologia foi avaliada por meio da simulação de 1600 cenários distintos, considerando variações no tipo de falta, resistência de falta e ângulo de incidência. A partir das análises para a abordagem proposta, obteve-se a precisão de 99,35% para a estimativa do local de ocorrência da falta, evidenciando a robustez da metodologia utilizada. A resistência de falta e o ângulo de incidência afetaram minimamente a precisão da metodologia, com exceção de alguns cenários específicos em que o ângulo de 30° resultou em erros ligeiramente mais elevados. Faltas do tipo AB e ABT demonstraram maior sensibilidade à localização ao longo da linha, especialmente no final do trecho subterrâneo. Além disso, observou-se um padrão em “V” na distribuição dos erros, com menor imprecisão concentrada na região central dos trechos. O tempo médio de resposta, em torno de 10 milissegundos por cenário, reforça a viabilidade da aplicação em tempo real. Assim, observou-se que a combinação entre a TOV e o filtro DS permitiu a extração eficiente dos transitórios e a correta identificação do ponto de ocorrência da falta, mesmo diante de diferentes condições operacionais.

Palavras-chave: Faltas em linhas de transmissão; Linhas não homogêneas; Localização de faltas; Teoria das Ondas Viajantes; Filtro *Differentiator-Smoother*.

Abstract

The supply of electricity is essential for the functioning of modern societies and is highly dependent on the efficiency and continuity of transmission networks. However, transmission lines are subject to disturbances that can compromise system stability and power quality. In this context, the application of efficient methods becomes crucial for the quick and accurate identification of faults, enabling the system to be restored promptly. This work applies the Traveling Wave Theory (TWT), together with the Differentiator-Smoother (DS) filter, for fault location in non-homogeneous transmission systems composed of overhead and underground segments. The methodology was evaluated through the simulation of 1600 distinct scenarios, considering variations in fault type, fault resistance, and incidence angle. Based on the analyses of the proposed approach, a fault location accuracy of 99.35% was achieved, demonstrating the robustness of the adopted methodology. Fault resistance and incidence angle had minimal impact on the method's accuracy, except in specific scenarios where the 30° angle resulted in slightly higher errors. AB and ABT type faults showed greater sensitivity to location along the line, especially at the end of the underground section. Furthermore, a “V”-shaped pattern was observed in the error distribution, with lower inaccuracies concentrated in the central region of the segments. The average response time, around 10 milliseconds per scenario, reinforces the feasibility of real-time application. Thus, it was observed that the combination of TWT and the DS filter enabled the efficient extraction of transients and the correct identification of the fault location, even under different operating conditions.

Keywords: Faults in transmission lines; Non-homogeneous lines; Fault location; Traveling Wave Theory; Differentiator-Smoother filter.

Lista de Figuras

1	Composição da linha não-homogênea.	17
2	Fluxograma de atividades.	19
3	Diagrama do Sistema Elétrico de Potência.	21
4	Extensão da rede básica de transmissão.	22
5	Linhas de transmissão no Brasil.	23
6	Circuito equivalente de uma linha de transmissão curta.	24
7	Circuito equivalente de uma linha de transmissão média.	25
8	Linha de transmissão com parâmetros distribuídos.	25
9	Composição de cabos isolados.	27
10	Composição da linha de transmissão não homogênea aérea e subterrânea.	28
11	Composição física da linha de transmissão não homogênea.	28
12	Ondas viajantes geradas após uma falta.	31
13	Método de OV tipo A.	32
14	Método de OV tipo D.	33
15	Processo de filtragem do filtro DS.	36
16	Sistema teste para o estudo das situações de faltas.	41
17	Parâmetros da torre de transmissão.	43
18	Metodologia aplicada para localização de faltas.	45
19	Corrente nos terminais M (a) e N (b).	46
20	Tensão nos terminais M (a) e N (b).	46
21	Tempo de chegada das OV	46
22	Erro percentual associado a variação da resistência de falta na parte aérea da linha de transmissão	49
23	Erro percentual associado a variação da resistência de falta na parte subterrânea da linha de transmissão	50

24	Erro percentual associado a variação do ângulo de incidência na parte aérea da linha de transmissão	51
25	Erro percentual associado a variação do ângulo de incidência na parte subterrânea da linha de transmissão	51
26	Erro percentual associado a variação do TF na parte aérea da linha de transmissão	52
27	Erro percentual associado a variação do TF na parte subterrânea da linha de transmissão	52

Lista de Tabelas

2	Principais referências bibliográficas utilizadas	39
1	Dados para fonte de tensão	42
2	Dados para linha de transmissão aérea de 230kV	42
3	Dados para os cabos subterrâneos	42
4	Variáveis simuladas para as análises	43
5	Número de ocorrências por Tipo de falta (T_f), Ângulo de incidência (A_i) e Resistência de falta (R_f)	53

Lista de quadros

1	Tipos de falta e seus modos correspondentes	34
---	---	----

Lista de abreviaturas, acrônimos e siglas

DS	<i>Differentiator-Smoother</i>
LTs	Linhas de Transmissão
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OV	Ondas Viajantes
SIN	Sistema Interligado Nacional
SEP	Sistema Elétrico de Potência
TOV	Teoria das Ondas Viajantes

Lista de Símbolos

- α Letra grega Alfa
- β Letra grega Beta
- γ Letra grega Gama minúscula
- π Letra grega Pi
- Ω Ohm

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
1.2	Justificativa	18
1.3	Metodologia	18
1.4	Organização do texto	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	O sistema elétrico brasileiro	21
2.2	Modelagem do sistema de transmissão	23
2.2.1	Modelos de linhas aéreas	23
2.2.2	Modelos de linhas subterrâneas	26
2.2.3	Linha de transmissão não-homogênea	28
2.3	Proteção do Sistema Elétrico de Potência	28
2.3.1	Principais faltas em sistemas de transmissão	29
2.4	Localização de faltas	30
2.4.1	Teoria das Ondas Viajantes	30
2.4.2	Transformada de Clarke	33
2.5	Filtro <i>Differentiator-Smoother</i>	34
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
4	METODOLOGIA	41
4.1	Sistema teste	41
4.2	Considerações adotadas na análise	42
4.3	Metodologia proposta para a localização de faltas	44

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1	Efeitos da variação da resistência de falta	48
5.2	Efeitos da variação do ângulo de incidência	50
5.3	Efeitos da variação do tipo de falta	51
6	CONCLUSÕES	54
6.1	Trabalhos futuros	55
	REFERÊNCIAS	59
	Apêndice	60
A	CÓDIGOS PARA GERAÇÃO DE ARQUIVOS .ATP	60
A.1	Faltas envolvendo o terra	60
A.2	Faltas sem o terra	70

INTRODUÇÃO

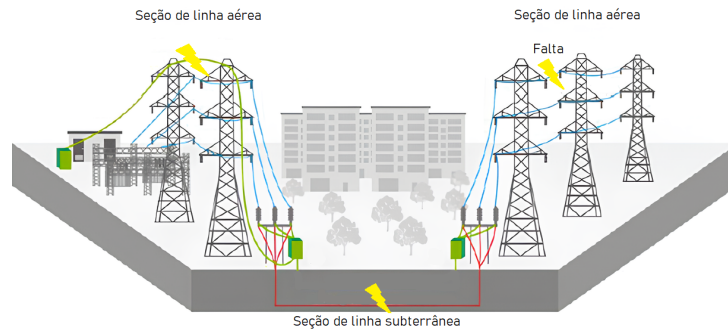
O desenvolvimento crescente do Sistema Elétrico de Potência (SEP) traz a demanda de esforços voltados ao aperfeiçoamento da qualidade do serviço de energia elétrica. A ocorrência de fatores como descargas atmosféricas, curtos-circuitos, acionamento de grandes cargas e o chaveamento de dispositivos podem gerar oscilações nos sinais de tensão, frequência e corrente que impactam temporariamente ou permanentemente a rede de energia elétrica (FILHO, 2018). Ter a direcionalidade desses eventos é fundamental para identificar a ocorrência de disfunções que podem comprometer o funcionamento de equipamentos, a continuidade de processos produtivos e a perda de dados de sistemas.

Em consonância com Saha, Izykowski e Rosolowski (2009), o impacto das faltas e o tempo necessário de verificação física é maior nas linhas de transmissão do que nos sistemas de subtransmissão e distribuição. Dessa forma, a localização de faltas em linhas de transmissão é de grande importância para melhorar a confiabilidade da entrega de energia com qualidade, reduzindo as perdas econômicas e impactos sociais que afetam proprietários, operadores de ativos de transmissão de energia e consumidores. Determinar com exatidão o local de falta resulta na diminuição do tempo de reestabelecimento da rede e no aumento da eficiência da eliminação dos efeitos resultantes, culminando na melhora da energia elétrica fornecida.

Zhang et al. (2021a) afirma que as linhas de transmissão não-homogêneas, aéreas e por cabos (no subsolo ou em submarinos), têm sido amplamente utilizadas. As linhas aéreas têm como características principais a simplicidade e a economia, enquanto os cabos subterrâneos, embora possuam maior confiabilidade e redução na poluição visual, possuem custo elevado. Assim, a linha não-homogênea é aplicada com o fim de equilibrar os custos de investimento, aumentar a qualidade de transmissão e reduzir os riscos sociais e impactos estéticos. No entanto, a localização de faltas enfrenta dificuldades devido às diferenças nos

parâmetros elétricos dos segmentos da linha, que resultam em comportamentos distintos para cada trecho durante a intermitência. Essa composição pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Composição da linha não-homogênea.



Fonte: Adaptado de PT Guna Elektro 2024.

A evolução dos modos de detecção de faltas passando pela inspeção visual e chegando na utilização de dados digitais aponta um marco histórico de evolução tecnológica nas linhas. Rezaei, Gholipour e Parvaresh (2022a) propõe três abordagens para determinar faltas em linhas de transmissão: a metodologia baseada em impedância, a análise de Ondas Viajantes (OV) e a aplicação de técnicas de inteligência artificial. Com a utilização de cabos subterrâneos e linhas aéreas desde 1931, o método de ondas viajantes destaca-se pela precisão em seus resultados. A teoria das OV's considera as ondas de tensão e corrente da falta que viajam na velocidade da luz em ambos os sentidos da linha em direção aos seus terminais.

Diante disso, surge a necessidade de aplicar técnicas de processamento digital de sinais eficazes para a análise de transitórios induzidos por faltas. Entre as diversas tecnologias disponíveis, destaca-se o filtro *Differentiator-Smoother* (DS), que se sobressai por seu ganho unitário e pela capacidade de gerar formas de ondas limpas. Isso permite uma análise mais precisa do sistema monitorado, sem perda de informações. Além disso, o filtro DS define padrões de saída bem estruturados para os sinais processados, facilitando a identificação das OV's geradas a partir do ponto de falta (SCHWEITZER; KASZTENNY; MYNAM, 2015).

Destarte, este trabalho propõe a aplicação do filtro DS como uma técnica avançada para a extração dos dados característicos dos sinais de tensão para a localização de faltas em sistemas de transmissão não homogêneos, fundamentada na teoria das Ondas Viajantes. O objetivo é detectar e estimar a localização de faltas com precisão em sistemas de transmissão complexos, contribuindo para o aprimoramento de métodos que impactam diretamente na restauração do fornecimento de energia elétrica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Localizar faltas em sistemas de transmissão não homogêneos utilizando o filtro DS aplicado à Teoria das Ondas Viajantes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a simulação de um sistema de transmissão de energia elétrica no *software* ATPDraw e coletar os dados de tensão e corrente nos terminais de leitura;
- Implementar o filtro DS no *software* MATLAB[®] para a extração dos dados característicos dos sinais de tensão;
- Avaliar a precisão estimada baseada na Teoria das Ondas Viajantes a partir dos dados obtidos por dois terminais;
- Comparar a precisão dos resultados de localização de faltas obtidos a partir da variação dos elementos observados pela literatura para tal aplicação.

1.2 Justificativa

A incidência de faltas no sistema de transmissão de energia elétrica impacta diretamente na qualidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica. Tais ocorrências, que somam entre 2.258 e 2.670 falhas anuais, podem causar faltas permanentes, desligando as seções afetadas e comprometendo parte do sistema (ONS, 2013). Além disso, mesmo as faltas temporárias devem ser tratadas com igual prioridade de localização, devido aos pontos fracos que podem revelar na linha. Ao aumentar a precisão e a velocidade do processo de detecção de faltas, é possível reduzir o tempo necessário para a inspeção e restabelecimento do fornecimento de energia. Portanto, é necessário o estudo de métodos cada vez mais eficientes para a localização de faltas, visando minimizar os transtornos causados aos consumidores.

1.3 Metodologia

O referido trabalho baseia-se na pesquisa exploratória com viés qualitativo, buscando compreender de maneira mais aprofundada o fenômeno estudado, identificar pa-

drões e levantar hipóteses iniciais que possam guiar futuras investigações. O fluxograma da Figura 2 apresenta as atividades a serem realizadas:

1. Revisão da literatura: caracterizada pela busca em compreender o que já foi estudado sobre o referido tema. Por meio da investigação em livros, artigos científicos, publicações acadêmicas e outras fontes relevantes, o objetivo é esquematizar e analisar as teorias anteriores, definindo a relevância da pesquisa atual.
2. Coleta de dados: Realizada por meio do *software* ATPDraw, que possibilita a simulação de sistemas elétricos e a geração de informações necessárias para a análise e a implementação do código para a aplicação do filtro DS será realizada no ambiente de programação MATLAB[®], que oferece ferramentas robustas para processamento e análise de sinais.
3. Análise de dados e discussão: Será realizada interpretação dos resultados obtidos com a finalidade de trazer contribuições relevantes para o estudo do tema, sugerindo novas direções de pesquisa e metodologias que possam ser exploradas para aprofundar o conhecimento na área.

Figura 2 – Fluxograma de atividades.



Fonte: Autoria própria.

1.4 Organização do texto

O trabalho está dividido em 06 (seis) capítulos, em que o presente capítulo aborda a contextualização do trabalho e a apresentação da necessidade de aprimoramento das formas de localização de faltas em sistemas de transmissão de energia elétrica. Os demais capítulos são:

Capítulo 2 – Apresentação do sistema elétrico brasileiro, modelagem das linhas de transmissão, características de proteção e conceituação dos métodos de localização de faltas: tipos de localizadores, Teoria das Ondas Viajantes e Filtro DS;

Capítulo 3 – Apresentação de pesquisas relevantes acerca do tema estudado;

Capítulo 4 – Aplicação da teoria das Ondas Viajantes e do filtro DS na localização de faltas em um sistema de transmissão de energia elétrica;

Capítulo 5 – Resultados e discussões, trazendo a comparação dos dados obtidos com trabalhos disponibilizados na literatura;

Capítulo 6 – Apresentação da conclusão do trabalho, bem como sugestões para desenvolvimento de trabalhos futuros.

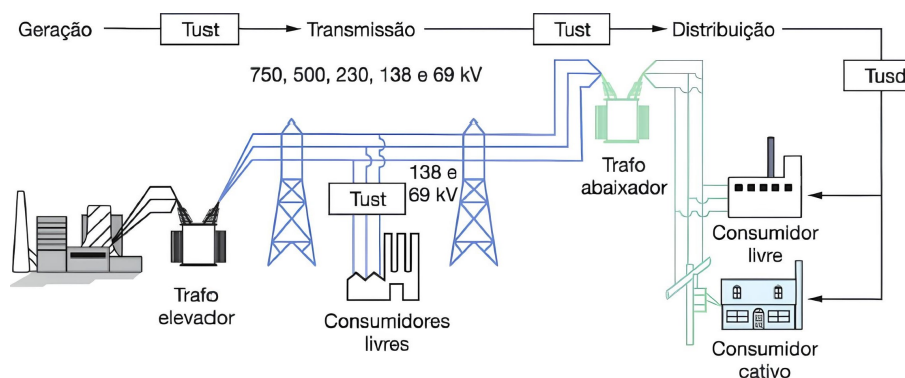
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O propósito de um sistema de energia é produzir eletricidade em quantidades adequadas, transmiti-la em grandes volumes para os centros de consumo e, posteriormente, distribuí-la aos consumidores finais. Esse processo deve ser realizado seguindo padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança e viabilidade econômica, exigindo estudos rigorosos para seu planejamento e operação (PINTO, 2000).

2.1 O sistema elétrico brasileiro

O sistema elétrico de potência é composto por três partes principais, conforme a Figura 3:

Figura 3 – Diagrama do Sistema Elétrico de Potência.



Fonte: Adaptado de Pinto (2000).

- Geração: Responsável pela produção de energia elétrica convertendo-a a partir de fontes disponíveis. No Brasil, a matriz de geração é predominantemente composta

por usinas hidrelétricas, seguidas pela geração eólica, térmica, solar e nuclear;

- **Transmissão:** Responsável por integrar as diversas fontes de geração e direcionar a energia ao mercado consumidor. As linhas de transmissão transportam a eletricidade das usinas geradoras para subestações próximas aos centros de consumo e são classificadas conforme o comprimento: curtas (menor que 80 km), médias (entre 80 e 240 km) e longas (maior que 240 km) (MOHAN, 2016).
- **Distribuição:** Ramo que leva energia elétrica das subestações de transmissão aos consumidores finais em áreas residenciais, comerciais ou industriais. Opera em tensões mais baixas e é essencial para garantir a disponibilidade e qualidade da energia fornecida ao usuário final.

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é responsável por integrar a produção e o transporte de energia em todo o Brasil. O SIN conecta usinas de diferentes fontes (hidrelétricas, térmicas, eólicas, solares e outras) a centros consumidores por meio de uma rede de transmissão. Conforme dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), no ano de 2023 foram totalizados 171.640 km de extensão das linhas de transmissão e a previsão para o ano de 2028 é de 200.015 km, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Extensão da rede básica de transmissão.

230 kV	2023 64.265 km	2028 69.070 km
345 kV	2023 10.597 km	2028 10.744 km
440 kV	2023 7.061 km	2028 7.072 km
500/525 kV	2023 69.247 km	2028 91.392 km
600 kV	2023 9.544 km	2028 9.544 km
750 kV	2023 1.722 km	2028 1.732 km
800 kV	2023 9.204 km	2028 10.671 km
TOTAL	171.640 km	200.015 km

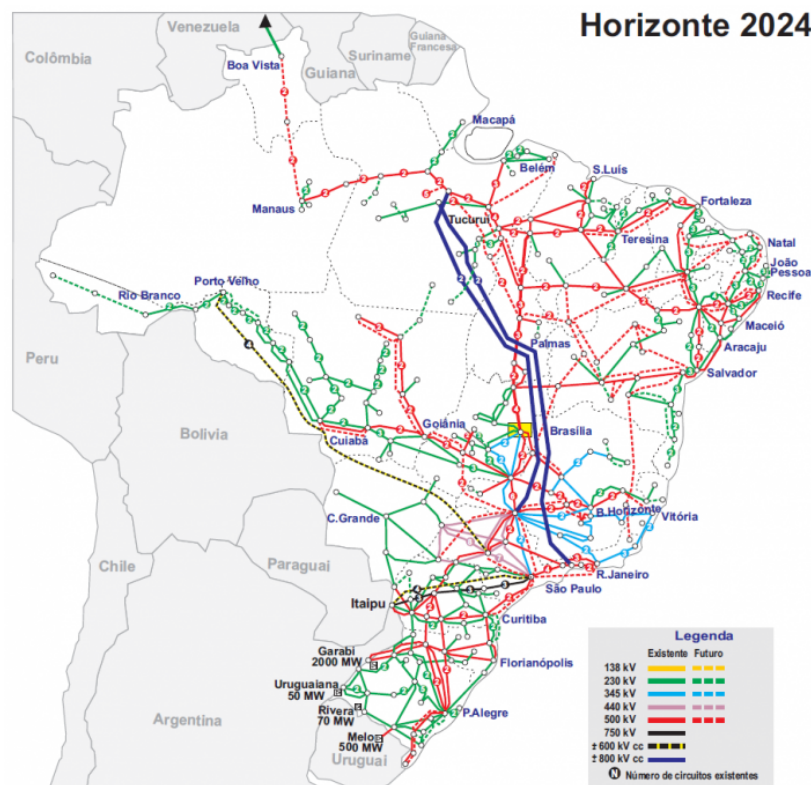
Fonte: ONS 2024.

2.2 Modelagem do sistema de transmissão

As Linhas de Transmissão (LTs) são responsáveis por transportar energia elétrica do ponto de geração ao ponto de distribuição, garantindo a menor quantidade de perdas possíveis. No Brasil, os níveis de tensão padronizados para transmissão são 750, 500, 230, 138 e 69 kV, enquanto que para subtransmissão utilizam-se 138, 69 e 34,5 kV, destinados ao fornecimento direto a grandes consumidores (PINTO, 2000).

Devido à predominância das hidrelétricas, que estão frequentemente localizadas em áreas distantes dos centros de consumo, o Brasil possui uma rede de linhas de transmissão com grandes extensões. A Figura 5 apresenta a distribuição dessas linhas, integradas ao SIN, ilustrando sua ampla cobertura no território nacional.

Figura 5 – Linhas de transmissão no Brasil.



Fonte: ONS 2019.

2.2.1 Modelos de linhas aéreas

Uma linha de transmissão de energia elétrica possui quatro parâmetros principais que influenciam seu comportamento: resistência, indutância, capacitância e condutância. A resistência e a indutância, distribuídas uniformemente ao longo da linha, formam a impedância em série, representando a oposição total ao fluxo de corrente. Já a capacitância

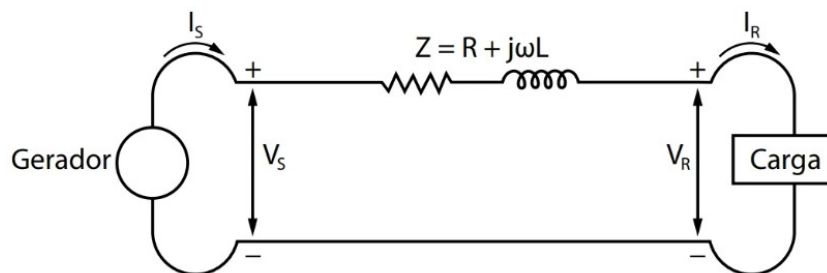
e a condutância, que ocorrem entre os condutores em uma linha monofásica ou entre o condutor e o neutro em uma linha trifásica, compõem a admitância em derivação, que representa a perda de corrente ao longo do trajeto que não chega ao destino final. Entretanto, a admitância em derivação é considerada normalmente uma capacitância pura por ser muito pequena em linhas de transmissão aéreas (GRAINGER; STEVENSON, 1994).

Os parâmetros de uma LT são uniformemente distribuídos ao longo de seu comprimento e representados em um circuito elétrico, cuja configuração depende da extensão da linha. A análise considera três situações distintas: linhas de transmissão curtas, médias e longas.

1. Linhas curtas

Para as linhas de até 80 km, classificadas como curtas, a capacitância em derivação tem um valor ínfimo, podendo ser inteiramente desprezada sem perdas de precisão. Essa consideração resulta da limitação na interação eletrostática devido ao menor comprimento da linha e à disposição dos condutores em relação ao solo. Dessa forma, pode-se considerar apenas os parâmetros de resistência R e indutância L em série para todo o comprimento da linha. A Figura 6 apresenta o circuito equivalente (GRAINGER; STEVENSON, 1994).

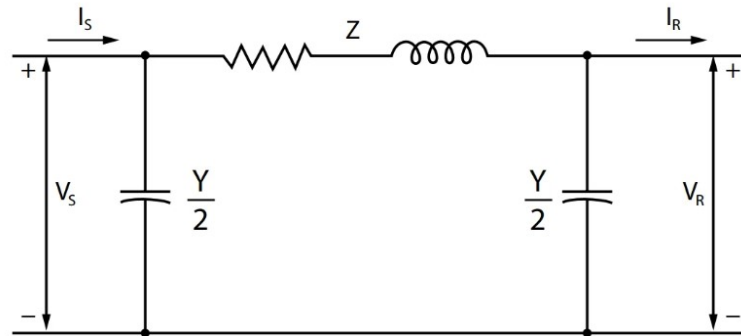
Figura 6 – Circuito equivalente de uma linha de transmissão curta.



Fonte: Binotto, Zamodzl e Teixeira (2018).

2. Linhas médias

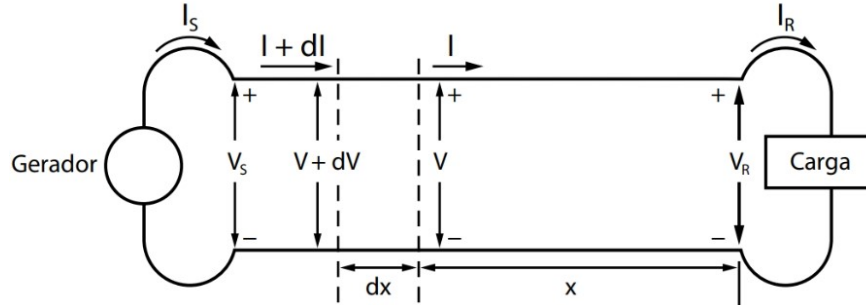
Em linhas médias, com comprimento entre 80 km e 240 km, o efeito capacitivo é dividido em duas partes iguais, posicionadas no início e no fim da linha. Esse efeito é representado pela admitância total por fase Y , que é determinada pela razão entre a admitância específica y e o comprimento l da linha. O circuito equivalente, ilustrado na Figura 7, é conhecido como circuito π , devido à semelhança de sua configuração com a letra grega (BINOTTO; ZAMODZL; TEIXEIRA, 2018).

Figura 7 – Circuito equivalente de uma linha de transmissão média.

Fonte: Binotto, Zamodzl e Teixeira (2018).

3. Linhas longas

Para linhas com extensão superior a 240 km, os efeitos elétricos estão distribuídos ao longo de todo o seu comprimento. Isso implica que os parâmetros de resistência, indutância, capacitância e condutância são uniformemente espalhados por toda a linha. O circuito equivalente a essa composição está apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Linha de transmissão com parâmetros distribuídos.

Fonte: Binotto, Zamodzl e Teixeira (2018).

Na extremidade mais próxima do gerador a tensão será:

$$\frac{dV}{dx} = Iz \quad (1)$$

A corrente dI que flui pela admitância do elemento infinitesimal dx é dada por:

$$\frac{dI}{dx} = Vy \quad (2)$$

Derivando as equações da tensão e da corrente supracitadas em relação a x , obtém-se:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = yzV \quad (3)$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} = yzI \quad (4)$$

Aplicando as condições da extremidade da linha $x = 0$, $V = V_R$ e $I = I_R$ na solução das equações diferenciais supracitadas, têm-se:

$$V = \frac{V_R + I_R Z_C}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - I_R Z_C}{2} e^{-\gamma x} \quad (5)$$

$$I = \frac{\frac{V_R}{Z_C} + I_R}{2} e^{-\gamma x} + \frac{\frac{V_R}{Z_C} - I_R}{2} e^{\gamma x} \quad (6)$$

- Em que: $Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}}$ é a impedância característica da linha e $\gamma = \sqrt{zy}$ a constante de propagação da onda.

As Equações (5) e (6) fornecem os valores eficazes de V e I em qualquer ponto da linha em termos da distância x entre a barra receptora e o ponto especificado. Entretanto, uma forma mais conveniente para o cálculo dessas variáveis é obtida pelas funções hiperbólicas. Uma vez que, comumente, o interesse de estudo dos parâmetros se concentra nas extremidades da linha, considera-se $x = 1$, resultando nas seguintes soluções (GRAINGER; STEVENSON, 1994):

$$V_S = V_R \cosh(\gamma l) + I_R Z_C \sinh(\gamma l) \quad (7)$$

$$I_S = I_R \cosh(\gamma l) + \frac{V_R}{Z_C} \sinh(\gamma l) \quad (8)$$

Para um comprimento total l , cada pequeno avanço infinitesimal dl gera variações nos parâmetros, resultando em uma pequena alteração na tensão (dV) e na corrente (dI). Ou seja, cada trecho da linha contribui com mudanças sutis na tensão e na corrente, que se acumulam gradualmente ao longo de toda a sua extensão (BINOTTO; ZAMODZL; TEIXEIRA, 2018).

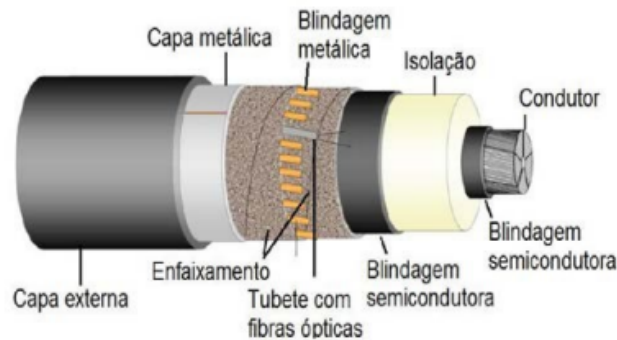
2.2.2 Modelos de linhas subterrâneas

Conforme Peixoto (2022), a expansão, otimização e reforma do SEP, somadas ao crescente número de conexões com fontes geradoras em espaços cada vez mais limitados, têm incentivado o uso de linhas subterrâneas para melhor aproveitamento dos sistemas existentes. Essa abordagem se justifica pela elevada confiabilidade das instalações, pelo aumento da segurança em áreas sensíveis e pelo menor impacto visual.

A instalação subterrânea é feita por cabos isolados comumente concêntricos, geralmente compostos por condutores, camadas de isolamento, blindagem metálica e revestimento externo, podendo estar diretamente aterrados ou inseridos em dutos subterrâneos

(MANSUR; LOPES, 2022). A construção, presente na Figura 9, é projetada para resistir a altas tensões e garantir segurança elétrica.

Figura 9 – Composição de cabos isolados.



Fonte: MANSUR e LOPES (2022).

Os quatro parâmetros principais de modelagem de linhas de transmissão descritos no tópico 2.2.1 são obtidos, nesse caso, considerando a geometria do cabo, as propriedades dos materiais e a interação com o solo. No âmbito de trechos subterrâneos, têm-se os seguintes aspectos:

- Capacitância: A capacitância é elevada, principalmente devido à proximidade física dos condutores entre si e em relação ao solo, o que intensifica o campo elétrico radial. Pode ser calculada pela fórmula:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (9)$$

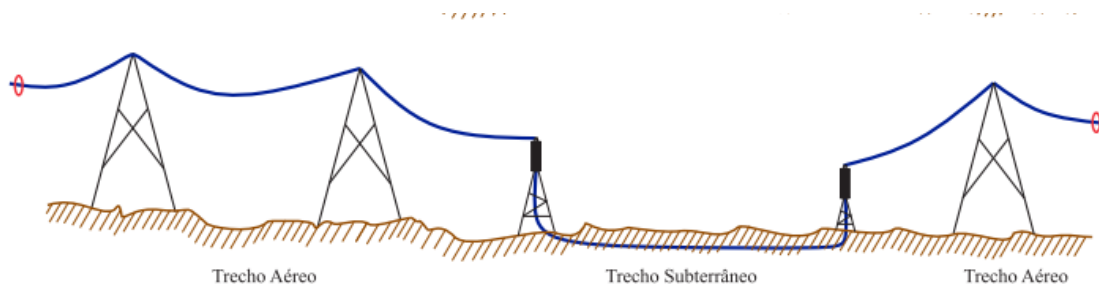
- Indutância: A indutância é reduzida, já que a menor distância entre os condutores diminui o fluxo magnético externo;
- Resistência: A resistência tende a ser maior em função das limitações térmicas do sistema, como a dissipação de calor pelos cabos enterrados e o efeito pelicular em altas frequências;
- Condutância: A condutância depende principalmente do material isolante utilizado, mas geralmente é baixa para minimizar as perdas.

Dessa forma, têm-se que a modelagem matemática da tensão e corrente em sistemas de transmissão, tanto subterrâneos quanto aéreos, pode ser baseada nas mesmas equações diferenciais apresentadas na seção 2.2.1.3, com a única diferença nos parâmetros utilizados (WEEDY et al., 2012).

2.2.3 Linha de transmissão não-homogênea

As linhas de transmissão não homogêneas são formadas pela integração de trechos aéreos, subterrâneos ou aquáticos dentro do mesmo sistema de transmissão. Na Figura 10 observa-se a representação de trechos aéreos e subterrâneos.

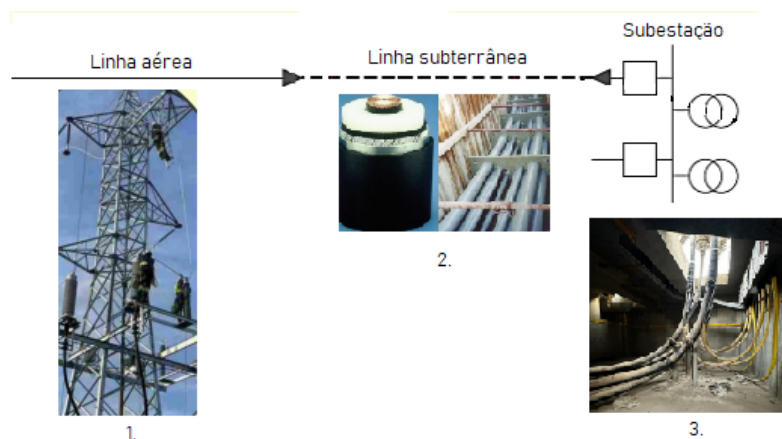
Figura 10 – Composição da linha de transmissão não homogênea aérea e subterrânea.



Fonte: Leite (2020).

Essa estruturação tem como vantagens a flexibilidade, confiabilidade de transmissão em locais sensíveis (como centros urbanos) e otimização de custos operacionais (LEITE, 2020). Destaca-se na Figura 11 as partes físicas e a interconexão entre os diferentes componentes do sistema de transmissão não homogêneo. Os segmentos aéreos são destacados pelas torres de transmissão visíveis, enquanto os trechos subterrâneos são indicados pelas seções que correm abaixo da superfície.

Figura 11 – Composição física da linha de transmissão não homogênea.



Fonte: Pisso (2023).

2.3 Proteção do Sistema Elétrico de Potência

Os sistemas de proteção são indispensáveis nos sistemas elétricos, pois garantem a segurança de pessoas, animais e do patrimônio, além de preservar a integridade dos

equipamentos e assegurar a continuidade do fornecimento de energia. Segundo Filho (2020), as principais causas de interrupções nos sistemas de geração e transmissão no Brasil são: fenômenos naturais (48%), falhas em materiais e equipamentos (12%) e falhas humanas (9%). Embora muitos desses fatores sejam inevitáveis, as interrupções geram custos financeiros e sociais significativos, que podem ser minimizados por meio de um sistema de proteção eficiente. Para isso, esses sistemas devem ser projetados para lidar com as diferentes faltas que podem ocorrer no sistema elétrico, as quais variam em tipo e gravidade.

2.3.1 Principais faltas em sistemas de transmissão

As linhas de transmissão representam a maior parte da estrutura do sistema de potência, sendo responsáveis pela maior ocorrência de faltas no sistema elétrico, com cerca de 68% das ocorrências. Esses eventos podem ser classificados em quatro tipos principais de faltas: curto-circuito, sobrecarga, sobretensão e subtensão (OLIVEIRA et al., 2019).

1. Curto-circuito

Define-se como a conexão de baixa resistência entre os polos de um circuito, o que provoca um aumento abrupto na corrente elétrica. Devido à baixa impedância dessa conexão, a corrente se eleva instantaneamente a níveis muito altos, resultando na elevação da temperatura dos condutores e podendo causar explosões e incêndios. Esse tipo de falta pode ocorrer devido a fenômenos como tempestades severas, acidentes humanos ou a incidência de objetos sobre os fios condutores. Os danos causados são significativos, afetando tanto a estrutura da rede elétrica quanto as unidades consumidoras.

2. Sobrecarga

Ocorre devido à adição excessiva de cargas à instalação elétrica, fazendo com que a potência demandada exceda a capacidade gerada ou fornecida pela rede elétrica. Apesar de o aumento de corrente ser moderado, sua duração prolongada pode causar superaquecimento, degradação dos materiais e danos severos à instalação.

3. Sobretensão

Caracteriza-se pelo aumento da tensão do sistema de potência para valores superiores a 110% da tensão nominal. Quando esse limite é excedido, a estrutura do sistema pode ser danificada, especialmente se não houver a atuação adequada de

dispositivos de proteção. Geralmente, essa falta é causada por fenômenos como descargas atmosféricas próximas à instalação, operações de chaveamento de circuitos, curtos-circuitos monoplares ou ruptura de fios condutores.

4. Subtensão

Ocorre quando o valor mínimo de tensão do sistema atinge 80% do valor nominal necessário para o funcionamento adequado. Em razão disso, os equipamentos podem ter seu funcionamento comprometido, podendo levar a aquecimentos e princípios de incêndio. Essa falta tem sua origem em descargas atmosféricas ou adição de cargas de grande potência de maneira súbita no sistema.

2.4 Localização de faltas

A localização de faltas em sistemas de transmissão é essencial para a estabilidade e continuidade do fornecimento de energia elétrica. A precisão na identificação do ponto de falha depende da análise eficaz dos sinais elétricos, que pode ser desafiadora devido à presença de componentes simétricas e assimétricas nos sinais trifásicos. Diversos métodos de decomposição de sinais, como a transformada de Fourier, *Wavelet* e a análise de componentes principais são utilizados, mas a transformada de Clarke se destaca por converter sinais trifásicos em um sistema bidimensional. Essa conversão facilita a separação das componentes simétricas e melhora a clareza na análise, tornando a transformada de Clarke uma escolha interessante para a detecção precisa de faltas em sistemas não homogêneos.

2.4.1 Teoria das Ondas Viajantes

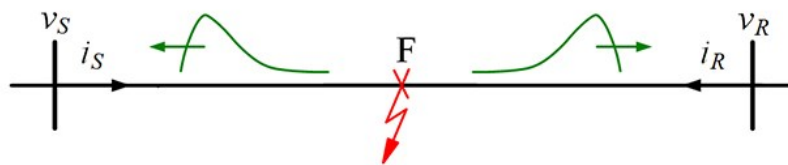
A continuidade e a confiabilidade no fornecimento de energia impulsionam a crescente demanda por dispositivos de proteção de alta qualidade. Entre as diversas funcionalidades desses dispositivos, a localização de faltas destaca-se como uma das mais importantes. Diante do elevado número de faltas que podem ocorrer nos sistemas de energia, os localizadores de faltas desempenham um papel crucial ao identificar os pontos específicos para reparos rápidos ou até mesmo para ações preventivas. Essa funcionalidade pode ser integrada a relés de proteção, registradores digitais, localizadores independentes e programas de análise pós-falta (FILHO, 2018).

Na sociedade moderna, em que as interrupções no fornecimento de energia são menos toleradas, torna-se essencial desenvolver métodos mais eficientes de localização de

faltas, reduzindo os transtornos e minimizando os custos globais. Atualmente, a localização automática de faltas é a abordagem mais utilizada. Essa técnica determina a localização física da falta por meio do processamento das formas de onda de tensão e corrente. Os métodos podem ser classificados em quatro categorias: baseados na medição de impedância, no fenômeno das ondas viajantes, nos componentes de alta frequência e em abordagens baseadas no conhecimento (SAHA; IZYKOWSKI; ROSOLOWSKI, 2009).

A teoria das ondas viajantes, em particular, tem sido aplicada a cabos subterrâneos e linhas aéreas desde 1931. Seu princípio baseia-se na análise dos transitórios de tensão e corrente gerados por uma falta, que se propagam ao longo da linha em ambas as direções, partindo do ponto de falta até os terminais da linha, conforme a Figura 12. Esses transitórios refletem continuamente entre o ponto de falta e os terminais até que o sistema alcance um estado estável pós-falta. A técnica consiste em medir com precisão o tempo de chegada dessas ondas nos terminais, permitindo calcular a distância até o ponto de falta com base na diferença de tempo de chegada das ondas.

Figura 12 – Ondas viajantes geradas após uma falta.



Fonte: Interface (2018).

Onde v_S e v_R representam as tensões nos terminais de envio e recepção, i_S e i_R são as respectivas correntes, e F indica o ponto de ocorrência da falta no sistema.

Os métodos de ondas viajantes são classificados em cinco tipos, com base no modo de operação e no tipo de sinal utilizado para detectar e localizar faltas em sistemas elétricos: tipos A, B, C, D e E. Embora os métodos B e C tenham sido relevantes no passado, sua precisão e aplicabilidade limitadas resultaram na sua queda de uso. Atualmente, os métodos A, D e E são os mais adotados devido à sua maior eficácia e capacidade de adaptação às tecnologias atuais (SAHA; IZYKOWSKI; ROSOLOWSKI, 2009).

Método tipo A

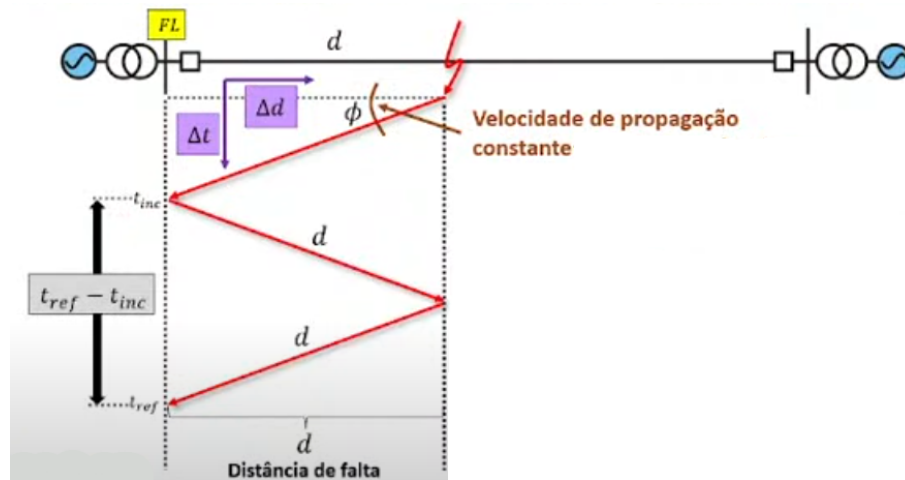
O princípio de operação de um localizador de faltas do Tipo A, aplicado a sistemas de um terminal, é representado na Figura 13, onde o eixo vertical indica o tempo e o eixo horizontal, a distância. Em sistemas elétricos, um terminal é o ponto de conexão da linha de transmissão com equipamentos, como subestações ou dispositivos de medição, onde as tensões e correntes da linha são monitoradas. As inclinações das linhas refletem a velo-

cidade de propagação dos sinais, assumida como constante. Com base em considerações geométricas, torna-se evidente que, ao calcular a diferença de tempo entre a chegada da onda refletida no ponto de falta e o instante da primeira onda incidente registrada no terminal, é possível estimar a distância até o local da falta (GALE et al., 1993):

$$d = \frac{(t_{ref} - t_{inc}) \times v_p}{2} \quad (10)$$

- Em que d é a distância até o ponto da falta, t_{ref} é o instante de reflexão da onda no terminal de envio, t_{inc} é o instante de chegada da onda incidente ao terminal, e v_p é a velocidade de propagação da onda ao longo da linha.

Figura 13 – Método de OV tipo A.



Fonte: Lopes 2022.

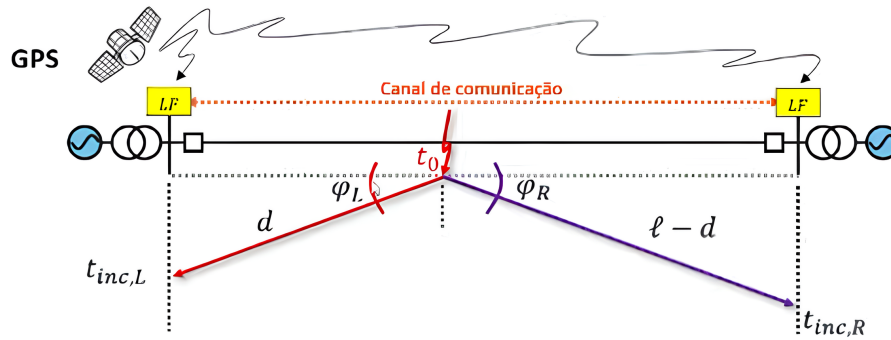
Método tipo D

Os localizadores de falhas do Tipo D, representados na Figura 14 operam com dois terminais sincronizados, geralmente por meio de receptores GPS de alta precisão. Quando ocorre uma falta, ambos os terminais registram os tempos de chegada das frentes de onda geradas pelo evento. A diferença nos tempos registrados em cada terminal, combinada com a velocidade de propagação das ondas ao longo da linha, permite determinar com precisão a localização da falta, conforme a Equação 11. Esse método foca exclusivamente na análise da primeira frente de onda incidente em cada extremidade da linha, eliminando as incertezas relacionadas às reflexões das ondas dentro da linha (GALE et al., 1993).

$$d = \frac{l + (t_{inc,R} - t_{inc,L}) \times v_p}{2} \quad (11)$$

- Onde d é a distância até o ponto da falta, l é o comprimento total da linha, $t_{inc,R}$ e $t_{inc,L}$ são os tempos de chegada das ondas incidentes nos terminais de recepção e envio, respectivamente, e v_p é a velocidade de propagação da onda na linha.

Figura 14 – Método de OV tipo D.



Fonte: Lopes 2022.

Método tipo E

Os localizadores do tipo E, assim como os do tipo A, realizam a análise a partir de um único terminal. No entanto, em vez de utilizar dados de tensão, eles analisam as ondas geradas pelo acionamento de um disjuntor na linha de transmissão. Esses dispositivos também empregam o método de reflexão de ondas para localizar falhas em cabos. A distância até a falta é determinada pela diferença de tempo entre o pulso gerado pelo fechamento do disjuntor e o impulso refletido na falta. Assim, a equação que define a localização do ponto de falta é a mesma apresentada na Equação 10 (SWART; PERERA; VOSLOO, 1996).

2.4.2 Transformada de Clarke

A Transformada de Clarke é uma técnica utilizada para analisar sistemas trifásicos, convertendo as grandezas de tensão ou corrente (A, B, C) em um sistema de coordenadas ortogonais (α , β , 0). A equação que define essa transformação para tensões ou correntes é dada pela Equação 12 (IBRAHIM, 2011):

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (12)$$

Em que I_α e I_β são as componentes da corrente nos eixos α e β , respectivamente, I_0 é a componente da média das correntes das três fases, e I_A , I_B e I_C são as correntes das

fases A, B e C do sistema trifásico original.

No contexto da localização de faltas, a análise das componentes I_α, I_β, I_0 ajuda a identificar o tipo e a localização da falha. Como ilustrado no Quadro 1, os diferentes tipos de faltas afetam as componentes de forma distinta. Por exemplo, faltas de aterramento (AT, BT, CT) causam variações significativas no modo zero (I_0), enquanto faltas entre fases (AB, BC, AC) alteram principalmente os modos α e β (REZAEI; GHOLIPOUR; PARVARESH, 2022a).

Quadro 1 – Tipos de falta e seus modos correspondentes

Tipo de falta	Modo		
	Zero	α	β
AT	X	X	
BT	X	X	X
CT	X	X	X
ABT	X	X	X
BCT	X		X
ACT	X	X	X
AB		X	X
BC			X
AC		X	X
ABC		X	X

A transformação simplifica a análise de transitórios e facilita a detecção de faltas, pois permite observar as variações das componentes de tensão de forma mais clara e eficiente. Dessa forma, a Transformada de Clarke é uma ferramenta valiosa na análise de sistemas elétricos, especialmente em sistemas de transmissão onde a detecção e localização rápida de faltas são fundamentais para a operação segura e eficiente.

2.5 Filtro *Differentiator-Smoother*

A propagação de OV em linhas de transmissão apresenta um comportamento transitório, o que demanda o uso de técnicas de filtragem para analisar as frentes de onda induzidas por faltas. Essas técnicas têm como objetivo eliminar componentes de baixa frequência e destacar as informações mais relevantes das ondas viajantes na linha monitorada. Dentre essas, destacam-se a Transformada Wavelet Discreta, a Transformada Wavelet Discreta Sobreposta Máxim, filtros digitais FIR e o filtro *Differentiator-Smoother*.

No contexto da detecção de ondas viajantes, o filtro DS se destaca das outras abordagens de filtragem, pois foi especificamente projetado para lidar com sinais transitórios. Diferentemente das demais técnicas, o filtro DS não é suscetível a distúrbios causados por transientes, oferecendo maior precisão e robustez na análise dos sinais induzidos por

faltas.

O filtro DS é composto por uma janela adaptativa de coeficientes, que se ajusta dinamicamente às mudanças no sinal de entrada. Essa janela atua em duas etapas principais: diferenciação e suavização. Na etapa de diferenciação, o filtro calcula a diferença entre valores sucessivos do sinal, destacando as variações rápidas e tornando mais evidentes as mudanças causadas por faltas. Já na etapa de suavização, a janela de coeficientes atenua componentes de baixa frequência e ruídos indesejados. Ao se adaptar às transições do sinal, o filtro responde rapidamente a mudanças significativas, enquanto minimiza a influência de flutuações lentas.

A resposta do filtro DS apresenta uma forma de onda triangular diante de mudanças bruscas no sinal de entrada, o que facilita a estimativa da amplitude e do tempo de incidência das ondas viajantes. A amplitude na forma de onda triangular é equivalente à amplitude da mudança de passo no sinal de entrada, o que caracteriza a operação do filtro com ganho unitário. O pico dessa forma de onda ocorre exatamente no momento em que as OV's chegam ao terminal monitorado.

A saída do filtro DS é obtida pelo produto interno entre as amostras do sinal de entrada e os coeficientes do filtro. Para calcular essa saída, é necessário determinar o número de coeficientes do filtro, que também define o tamanho da janela e pode ser calculado conforme a Equação 13. Além disso, também deve-se determinar o coeficiente de ganho (G) que é ajustado para garantir que o filtro tenha ganho unitário, ou seja, a amplitude do sinal de saída será igual à amplitude da entrada quando o sinal for um degrau ideal (RIBEIRO et al., 2018).

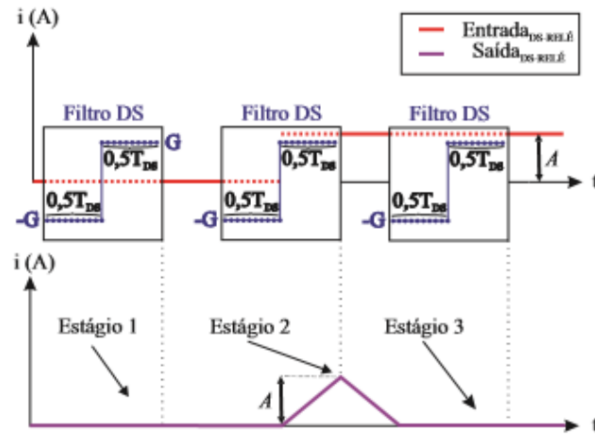
$$N_{ds} = T_{ds} \times F_s \quad (13)$$

Em que T_{ds} é a janela de coeficientes do filtro e F_s a frequência de amostragem.

O processo de filtragem do filtro DS pode ser dividido em três etapas principais, conforme a Figura 15. Na primeira etapa, o filtro recebe como entrada um sinal estável, sem grandes variações, ou seja, antes da ocorrência de uma falta. Nesse cenário, a saída do filtro é aproximadamente nula, pois não há mudanças significativas no sinal para serem detectadas. Na segunda etapa, ocorre uma mudança abrupta no sinal de entrada, resultando em uma transição nos sinais de tensão e corrente. Nesse momento, o filtro, que está alinhado à variação em degrau, atinge seu valor máximo de saída, indicando a detecção da mudança. Por fim, na terceira etapa, o filtro processa o sinal enquanto ele se estabiliza após a transição. Como o sinal não apresenta variações rápidas, a saída do filtro retorna a um valor próximo de zero.

As equações que determinam a saída do filtro para cada etapa de funcionamento

Figura 15 – Processo de filtragem do filtro DS.



Fonte: Ribeiro, Lopes e Honorato (2019).

são (RIBEIRO; LOPES; HONORATO, 2019):

Etapa I:

$$I_{ds} = \frac{N_{ds} - 1}{2} \times G \times 0 + \frac{N_{ds} - 1}{2} \times (-G) \times 0 = 0 \quad (14)$$

Etapa II:

$$I_{ds} = \frac{N_{ds} - 1}{2} \times G \times A + \frac{N_{ds} - 1}{2} \times (-G) \times 0 = A \quad (15)$$

Etapa III:

$$I_{ds} = \frac{N_{ds} - 1}{2} \times G \times 0 + \frac{N_{ds} - 1}{2} \times (-G) \times 0 = 0 \quad (16)$$

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Alves et al. (2015) propõem uma técnica para localização de faltas monofásicas em linhas de transmissão combinando a teoria das ondas viajantes com filtragem adaptativa de sinais. O método utiliza sinais de tensão medidos em dois terminais da linha e considera frequências de amostragem de 200 kHz, 400 kHz e 1 MHz. A técnica apresenta desempenho satisfatório, com erros médios de 0,958%. Os autores destacam que a precisão é diretamente influenciada pela taxa de amostragem, sendo mais eficiente em frequências mais altas.

Lopes et al. (2019) apresentaram um estudo constatando a eficácia do filtro *Differentiator Smoother* na análise de ondas viajantes em sistemas de transmissão. O estudo ressalta as vantagens do filtro DS em relação a outras técnicas de filtragem, além de apresentar um exemplo prático de interpolação de amostras para refinar a detecção de ondas viajantes. Com a utilização dos dados de corrente vindos de dois terminais e uma frequência de amostragem de 1 MHz, os resultados mostraram que o filtro, aliado à Teoria das Ondas Viajantes (TOV), oferece excelente desempenho na localização de faltas em linhas de transmissão.

Ribeiro, Lopes e Honorato (2019) realizaram a validação de um modelo computacional do filtro *Differentiator Smoother*, comparando seu desempenho com o de um relé real que utiliza o mesmo filtro. O estudo utilizou sinais de tensão e corrente provenientes de dois terminais, aplicados à teoria das ondas viajantes, com frequência de corte de 1 MHz. Os resultados confirmaram que o modelo computacional reproduz fielmente as respostas do filtro DS implementado no relé real, demonstrando sua eficácia.

Hashemian, Hashemian e Gholipour (2021) apresentam um método de localização de faltas baseado na utilização de medições não sincronizadas de tensão e corrente de

ambos os terminais para formar um sistema de equações não lineares, solucionado com o algoritmo *Particle Swarm Optimization* e um método de Newton modificado. As simulações no MATLAB® demonstraram alta precisão do método, que é independente de fatores como resistência de falta, ângulo de sincronização e tipo de falha.

Zhang et al. (2021b) desenvolveram um método que utiliza tensões e correntes medidas em ambas as extremidades da linha para localizar segmentos de falta, com base em características de tensão. O método emprega um algoritmo de evolução diferencial de duas populações, dispensando a necessidade de identificar a frente de onda viajante e de altas frequências de amostragem. Apesar de sua precisão e aplicabilidade em linhas híbridas, o processo computacional é relativamente complexo.

Xie et al. (2022) analisaram características de propagação e refração de ondas viajantes, empregando o método de Decomposição em Modo Simétrico de Ponto Extremo (ESMD) e o Operador de Energia de Teager. A técnica utiliza dados de tensão de dois terminais para identificar a seção de falta e demonstra ser pouco sensível a variações nos parâmetros de falta.

Oliveira, Moreira e Picanço (2022a) propõem a aplicação da Transformada de Hilbert-Huang (HHT) para a análise de transitórios das ondas viajantes, com o objetivo de localizar faltas. O método, que utiliza sinais de tensão de dois terminais com frequência de 20 kHz, demonstrou alcançar uma precisão de 99,26%, mesmo em condições adversas, como variações na resistência de falta. Em um estudo relacionado, Oliveira, Moreira e Picanço (2022b) apresentam uma metodologia que utiliza os componentes de sequência positiva dos sinais de tensão e corrente de dois terminais, também com frequência de amostragem de 20 kHz. Nesse caso, a combinação da Decomposição Variacional dos Modos com o Operador de Energia Teager, aplicada à teoria das ondas viajantes, permitiu atingir uma precisão média de 98,104% na localização de faltas.

Rezaei, Gholipour e Parvaresh (2022b) apresentaram um método para localização de faltas em sistemas não-homogêneos, utilizando tensões trifásicas medidas em um único terminal. O processo envolve análise do tempo de chegada e polaridades das ondas viajantes, com transformada de Clarke e janelas deslizantes. O método mostrou-se eficaz, mesmo em condições adversas, como mudanças nos parâmetros de medição.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos trabalhos.

Quadro 2 – Principais referências bibliográficas utilizadas

Referência	Objetivo	Principais especificações
Alves et al. (2015)	Estimar a localização de faltas utilizando uma filtragem adaptativa de sinais aplicada à TOV.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinal de tensão - Utiliza a TOV - Filtragem adaptativa de sinais - FA de 200kHz, 400kHz e 1MHz
Lopes et al. (2019)	Descrever procedimentos e princípios do filtro DS e atestar sua funcionalidade para localização de faltas relacionadas às OV's.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinal de corrente - Utiliza a TOV - Filtro DS - FA de 1MHz
Hashemian, Hashemian e Gholipour (2021)	Localizar faltas utilizando medições não sincronizadas de tensão e corrente aplicadas à TOV e ao algoritmo PSO.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinais de tensão e corrente - Não utiliza a TOV - PSO
Leite (2021)	Localizar faltas a partir da TOV para aplicação em linhas não homogêneas com a utilização da TW e do desenvolvimento de um equacionamento generalizado.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinais de tensão e corrente - Utiliza a TOV - Transformada de Wavelet - FA de 400kHz e 1MHz
Oliveira, Moreira e Picanço (2022a)	Apresentar a aplicação da transformada de Hilbert-Huang e a TOV para a localização de faltas em linhas de transmissão.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinais de tensão - Utiliza a TOV - Transformada de Hilbert-Huang - FA de 20kHz
Oliveira, Moreira e Picanço (2022b)	Localizar faltas em linhas de transmissão com base DVM e operador de energia Teager.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 Terminais - Sinais de tensão e corrente - Utiliza a TOV - Decomposição variacional dos modos e operador de energia Teager - FA de 20kHz

<i>Continuação do Quadro 2</i>		
Rezaei, Gholipour e Parvaresh (2022b)	Localizar faltas em sistemas de transmissão não-homogêneos aéreo e por cabo com base em ondas viajantes.	<ul style="list-style-type: none"> - 1 terminal - Sinal de tensão - Utiliza a TOV - Janelamento - FA de 1MHz
Ribeiro, Lopes e Honorato (2019)	Comparar os resultados da modelagem computacional do filtro DS com o relé real SEL-T400L que possui o filtro implementado.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinais de tensão e corrente - Utiliza a TOV - Filtro DS - FA de 1MHz
Xie et al. (2022)	Localizar faltas em LT's não homogêneas utilizando as Ondas Viajantes e o operador Teager.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinal de tensão - Utiliza a TOV - Operador Teager - FA de 600kHz
Zhang et al. (2021b)	Localizar faltas para linhas de transmissão híbridas aéreas e por cabo no sistema VSC-HVDC.	<ul style="list-style-type: none"> - 2 terminais - Sinais de tensão e corrente - Não utiliza a TOV - Algoritmo de evolução diferencial

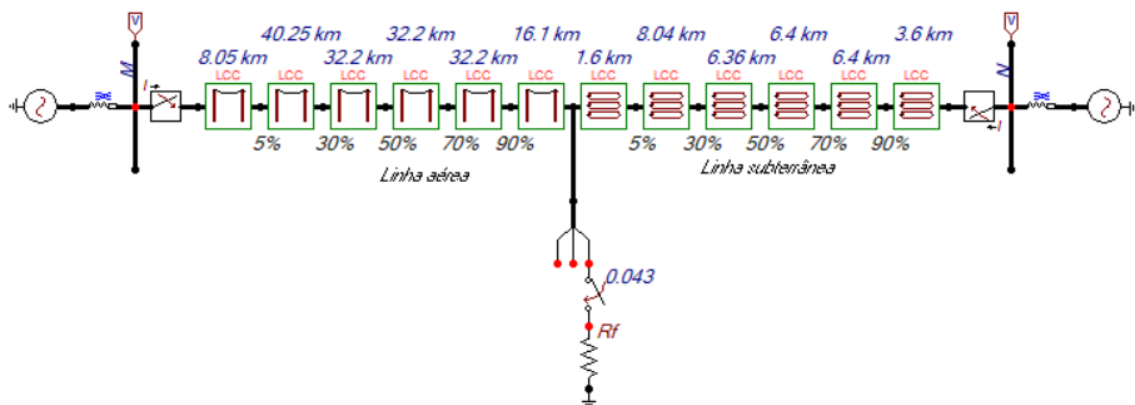
Após a análise dos trabalhos que comprovam a aplicabilidade do filtro DS na TOV, especialmente para a localização de faltas em sistemas de transmissão, este estudo busca expandir e aprofundar essas abordagens, aplicando a TOV em sistemas não homogêneos compostos por linhas aéreas e subterrâneas. Enquanto os trabalhos anteriores validaram o uso do filtro DS para aprimorar a detecção de transitórios, o presente trabalho propõe uma nova aplicação ao integrar o filtro DS à análise das ondas viajantes em um sistema de transmissão não homogêneo. Essa combinação visa não apenas reforçar a precisão na localização das faltas, mas também explorar a eficácia dessa metodologia em cenários mais complexos, com diferentes tipos de linhas de transmissão. Dessa forma, o objetivo é contribuir com uma abordagem mais robusta, validando a TOV aprimorada com o filtro DS como uma ferramenta eficaz na detecção e localização precisa de faltas em linhas não homogêneas.

METODOLOGIA

4.1 Sistema teste

O sistema proposto é uma linha de transmissão não homogênea, composta por trechos aéreo e subterrâneo, com um comprimento total de 193 km, operando a 230 kV e 50 Hz. A Figura 16 apresenta o sistema teste modelado no *software* ATPDraw, no qual a linha é subdividida em uma seção aérea de 161 km e uma seção subterrânea de 32 km.

Figura 16 – Sistema teste para o estudo das situações de faltas.



Fonte: Autoria própria.

A modelagem foi baseada no modelo de linha de transmissão de JMarti, utilizando os parâmetros definidos por Ravesh et al. (2022) (MARTI, 1982). Esses parâmetros foram aplicados tanto à linha aérea quanto à subterrânea, garantindo a consistência dos dados e possibilitando a validação dos resultados obtidos em comparação com os reportados na literatura.

Os parâmetros do sistema estão apresentados na Tabela 1 (fonte de tensão), Tabela

2 (linha de transmissão aérea), Tabela 3 (linha de transmissão subterrânea) e Figura 18 (características da torre).

Tabela 1 – Dados para fonte de tensão

Parâmetros de fonte de tensão final de recebimento e envio	
Impedância de sequência positiva	$1.96 + j 4.70 \Omega$
Impedância de sequência zero	$1.44 + j 4.39 \Omega$
Frequência do sistema	50 Hz

Tabela 2 – Dados para linha de transmissão aérea de 230kV

Fase	Capa	Resistência DC ($10^{-3}\Omega/m$)	Diâmetro externo ($10^{-3}m$)	Distância horizontal (m)	Altura vertical da torre (m)	Número de feixes
Terra	0.5	4.19	9.14	13.72	34.75	0
Terra	0.5	4.19	9.14	22.86	34.75	0
A	0.5	0.0612	30.38	18.29	30.78	2
B	0.5	0.0612	30.38	13.72	24.38	2
C	0.5	0.0612	30.38	22.86	24.38	2

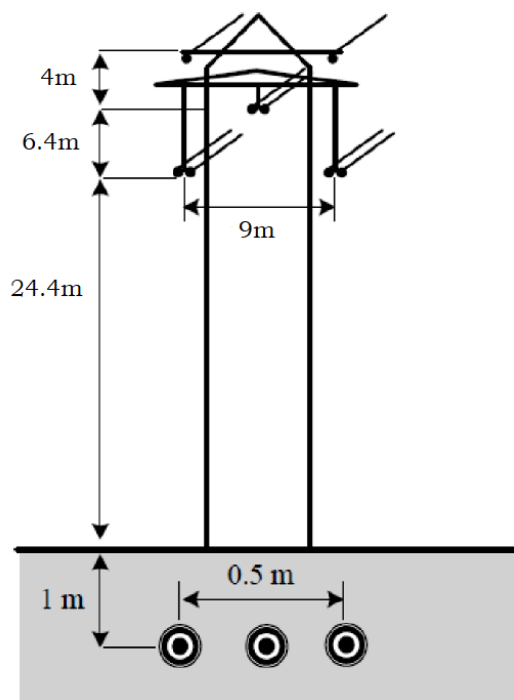
Tabela 3 – Dados para os cabos subterrâneos

Fase	Raio interno do núcleo	Raio externo do núcleo [cm]	Raio interno da bainha [cm]	Raio externo da bainha [cm]	Raio de isolamento externo [cm]	Resistividade do núcleo [Ω/m]	Resistividade da bainha [Ω/m]
A	0	2.34	3.85	4.13	4.84	0.017e-6	0.21e-6
B	0	2.34	3.85	4.13	4.84	0.017e-6	0.21e-6
C	0	2.34	3.85	4.13	4.84	0.017e-6	0.21e-6

4.2 Considerações adotadas na análise

Para a análise do sistema de teste, os sinais de tensão e corrente são registrados simultaneamente nos terminais da linha de transmissão, considerando faltas simuladas em diferentes pontos ao longo do sistema não homogêneo. As localizações das faltas abrangem 5%, 30%, 50%, 70% e 90% da extensão de cada trecho da linha: tanto da parte aérea, que vai do quilômetro 8 (próximo ao terminal M) ao quilômetro 161, quanto da parte subterrânea, entre os quilômetros 163 e 190 (nas proximidades do terminal N).

O sistema de teste é avaliado em condições que envolvem dez tipos distintos de faltas simuladas, em que as fases da linha de transmissão são representadas pelas letras A, B e C, enquanto o T indica o aterramento. Para cada caso, a resistência de falta (R_f) varia

Figura 17 – Parâmetros da torre de transmissão.

Fonte: Adaptado de Ravesh et al. (2022).

entre os valores de 1Ω , 50Ω , 100Ω e 500Ω , e o ângulo de incidência da onda viajante assume os valores de 0° , 30° , 60° e 90° . Essas variações permitem contemplar um conjunto representativo de condições operacionais do sistema, ao mesmo tempo em que mantêm a coerência com abordagens metodológicas previamente consolidadas na literatura.

A frequência de amostragem é mantida constante em 1MHz com base em sua prevalente aplicação em investigações anteriores. De acordo com Oliveira, Moreira e Picanço (2023), análises realizadas com variações nesse parâmetro indicam que o valor adotado é robusto metodologicamente, proporcionando a validação da TOV nas análises dos resultados. A Tabela 4 resume os valores utilizados para os testes e simulações realizadas.

Tabela 4 – Variáveis simuladas para as análises

Variáveis simuladas	Valores
Localização de falta	5%, 30%, 50%, 70% e 90% (isto é, 10 locais de ocorrência combinando as linhas aérea e subterrânea)
Tipo de falta	AT, BT, CT, ABT, BCT, ACT, AB, BC, AC, ABC
Ângulo de incidência	0° , 30° , 60° e 90°
Resistência de falta	1Ω , 50Ω , 100Ω e 500Ω
Frequência de amostragem	1MHz

4.3 Metodologia proposta para a localização de faltas

A análise dos dados característicos dos sinais de tensão e corrente, utilizando o filtro DS em conjunto com a TOV, para a localização de faltas no sistema não homogêneo em estudo, segue o procedimento descrito a seguir, cujos passos também estão representados no fluxograma da Figura 18:

1. A modelagem do sistema de potência foi realizada utilizando o *software* ATP-Draw, no qual foram simulados 1600 cenários distintos, gerados automaticamente por meio da combinação de parâmetros definidos por um algoritmo desenvolvido no ambiente MATLAB®. Para isso, foram criadas rotinas que permitem a alteração automatizada de arquivos .atp, variando os principais fatores que afetam o comportamento da linha de transmissão diante de uma falta, como o tipo de falta, o ângulo de incidência, a localização e a resistência da falta.

A fim de possibilitar a criação em série desses arquivos, foi adotada a metodologia descrita por Vitor (2025), empregando um arquivo base do ATPDraw (.atp) com marcadores específicos para cada parâmetro. O código em MATLAB®, presente no Apêndice A, foi estruturado para identificar esses marcadores no conteúdo do arquivo, substituir os valores necessários (conforme a variação de dados apresentados na Tabela 4) e salvar cada nova versão como um arquivo separado. Dessa forma, os arquivos gerados foram armazenados em diretórios, compondo assim um banco de dados próprio.

2. Os sinais de corrente e tensão são lidos nos terminais da linha de transmissão para análise, e as fases faltosas são definidas com base no comportamento do sinal de corrente.

3. Para detectar a conexão de terra na falta, o modo terra no sinal de corrente é analisado, permitindo a identificação de faltas que envolvem o aterramento;

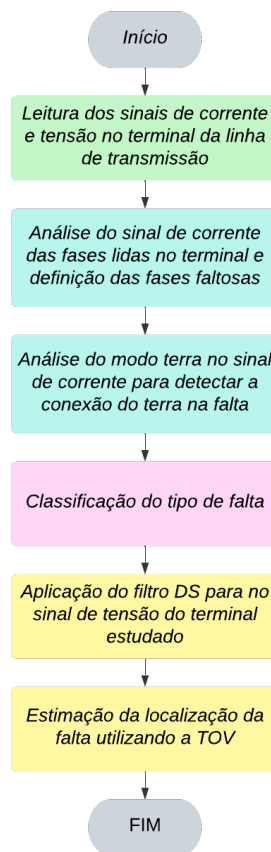
4. Após a identificação das fases faltosas, as faltas são classificadas quanto ao tipo, utilizando critérios definidos a partir do comportamento observado nos sinais. Para classificar todos os tipos de faltas, faz-se necessário somar os modos α e β apresentados na Tabela 1 a fim de encontrar o estado transitório para todos os tipos de faltas.

5. O filtro *Differentiator-Smoother* é aplicado ao sinal de tensão nos terminais para suavizar e eliminar ruídos, permitindo uma análise precisa das ondas viajantes;

6. A estimativa da localização da falta é realizada a partir do sinal de tensão com base na Teoria das Ondas Viajantes, utilizando o modelo D, que utiliza dois terminais de leitura. O momento da chegada da onda viajante no terminal é identificado a partir do tempo correspondente ao pico de energia no sinal processado, e o valor estimado é encontrado a partir da Equação 11. A escolha por utilizar o sinal de tensão se justifica

pelos resultados observados na literatura, que apontam sua maior eficácia na localização de faltas. Em Miranda (2025), verificou-se que os menores erros foram obtidos com o uso dos sinais de tensão, independentemente do tipo de falta ou do ângulo de incidência. Da mesma forma, Oliveira, Moreira e Picanço (2023) também destacam a superioridade da resposta dos sinais de tensão em comparação aos de corrente em metodologias baseadas na Teoria das Ondas Viajantes;

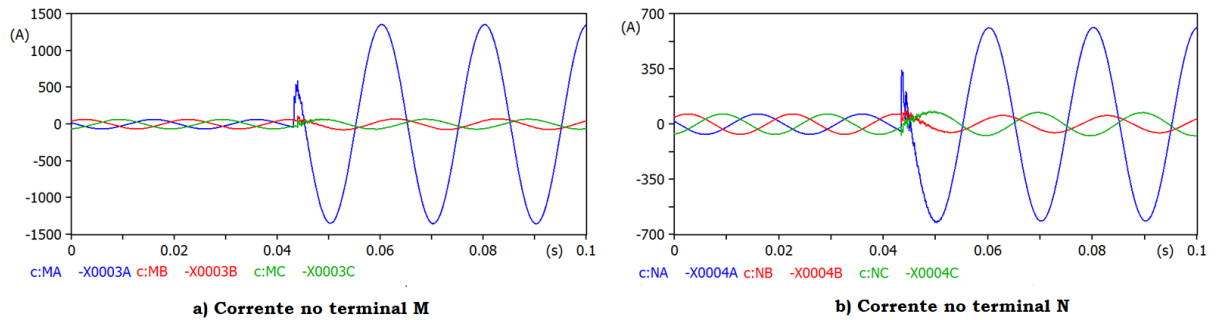
Figura 18 – Metodologia aplicada para localização de faltas.



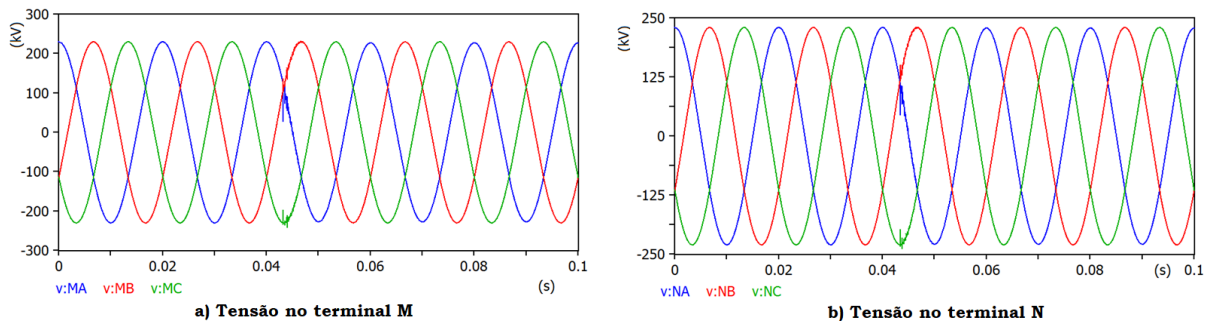
Fonte: Autoria própria.

O modelo foi implementado no *software* ATPDraw, permitindo a extração dos sinais transitórios gerados pela falta e o cálculo da velocidade da onda viajante a partir do bloco LCC (do inglês *line and cable constants block*), calculada como $2.95455 \times 10^5 m/s$.

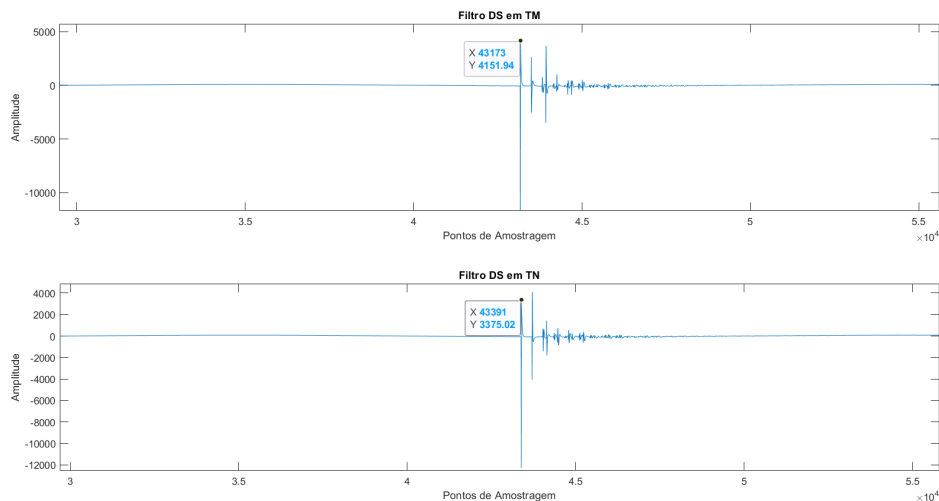
Os sinais de corrente e tensão foram capturados nos dois terminais de medição, conforme ilustrado nas Figuras 19 e 20, evidenciando as perturbações causadas pela falta e a propagação das ondas viajantes ao longo da linha. Esses sinais foram posteriormente processados no MATLAB®, onde foi aplicado o filtro *Differentiator-Smoother* para suavização dos dados e identificação precisa do instante de chegada das ondas viajantes nos terminais. A Figura 21 apresenta a saída do filtro DS para os dois terminais de medição, onde se observa que a amplitude do sinal destaca o instante de chegada das ondas viajantes.

Figura 19 – Corrente nos terminais M (a) e N (b).

Fonte: Autoria própria.

Figura 20 – Tensão nos terminais M (a) e N (b).

Fonte: Autoria própria.

Figura 21 – Tempo de chegada das OV

Fonte: Autoria própria.

A partir desses instantes, foi empregada a Teoria das Ondas Viajantes para a estimação da localização da falta a partir da aplicação dos tempos de incidência gerados pelo filtro DS e a velocidade de propagação da onda na Equação (11), referente ao método tipo D da TOV. Para avaliar a precisão do método, utilizou-se o cálculo do erro percentual associado à distância exata e à estimada da falta, calculado a partir da Equação (18) (SAHA; IZYKOWSKI; ROSOLOWSKI, 2009).

$$Erro(\%) = \frac{d_c - d_e}{l} \times 100 \quad (17)$$

Em que d_c é a distância estimada, calculada através da utilização do filtro DS aplicado a TOV; d_e é a distância exata da falta definida na simulação e l é o comprimento total da linha.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises foram conduzidas com base em um conjunto de 1600 cenários simulados. Desse total, 81% dos casos apresentaram resultados satisfatórios e foram considerados na avaliação final, enquanto os 19% restantes não foram utilizados para análise por apresentarem erros superiores a 10%, o que os torna valores inadequados para estimar o local de ocorrência da falta.

As simulações foram realizadas em uma plataforma com sistema operacional de 64 bits, equipada com um processador AMD Ryzen 7 4800H com Radeon Graphics (2,90 GHz), 8 GB de memória RAM e 512 GB de armazenamento em SSD. Observou-se que o custo computacional médio para o processamento do sinal de tensão utilizando o filtro *Differentiator-Smoother* foi de aproximadamente 10 milissegundos por cenário, demonstrando a viabilidade da aplicação da técnica em contextos que demandam resposta rápida.

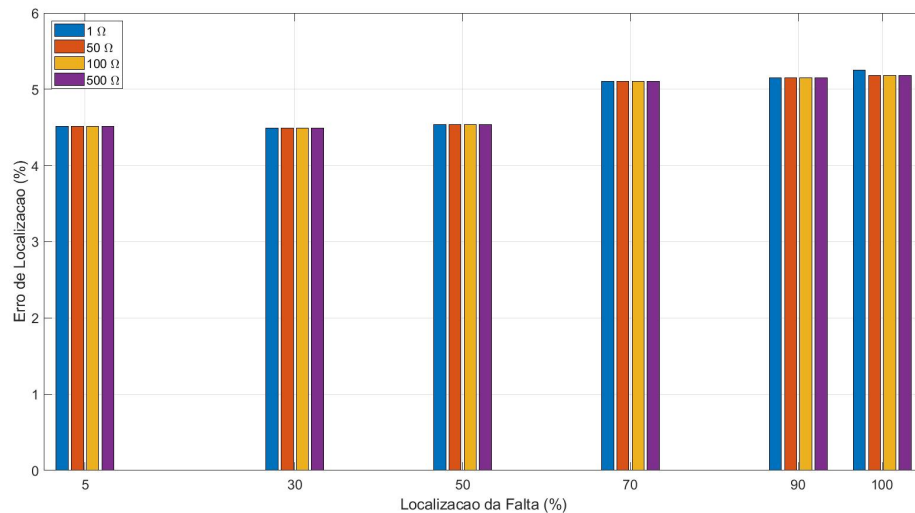
A seguir, são discutidos os principais resultados obtidos, com ênfase na análise de sensibilidade da metodologia proposta para a localização de faltas em diferentes condições operacionais.

5.1 Efeitos da variação da resistência de falta

A Figura 22 apresenta o erro percentual na localização de faltas do tipo AT, considerando um ângulo de incidência de 90° , frequência de amostragem de 1 MHz e todos os pontos ao longo da extensão da parte aérea da linha de transmissão. A escolha do ângulo de incidência de 90° se deve ao fato de essa condição representar um cenário crítico para a propagação das ondas viajantes, pois maximiza a assimetria entre as fases e intensifica os efeitos transitórios, exigindo maior robustez do algoritmo de localização de faltas.

As variações da resistência de falta na faixa de 1Ω a 500Ω não apresentaram impacto significativo nos resultados obtidos pelo algoritmo proposto. A única exceção observada foi um aumento de $0,07\%$ no erro de localização no último ponto da seção aérea da linha, quando considerada uma resistência de falta de 1Ω .

Figura 22 – Erro percentual associado a variação da resistência de falta na parte aérea da linha de transmissão



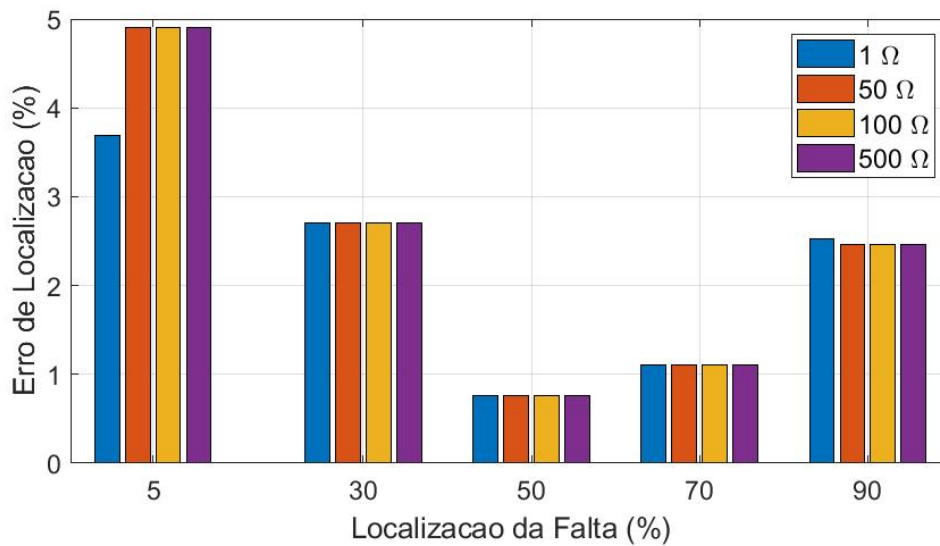
Fonte: Autoria própria.

Observa-se na Figura 23 que na análise dos pontos localizados na parte subterrânea da linha de transmissão, os erros de localização também se mantiveram estáveis em cada local de ocorrência, independentemente da resistência de falta aplicada. Observou-se apenas uma redução de $1,22\%$ do erro no início desse trecho e um aumento de $0,04\%$ próximo ao final, ambos associados à resistência de 1Ω .

Os resultados obtidos apresentaram um comportamento em V, com melhores desempenhos de localização de faltas na região central da linha, isto é, aproximadamente 50% do comprimento de cada trecho. Esse comportamento está em conformidade com a literatura, a qual indica que a precisão do método de localização baseado em ondas viajantes tende a diminuir à medida que a falta se aproxima de um dos terminais da linha (OLIVEIRA; MOREIRA; PICANÇO, 2023).

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a variação da resistência de falta, dentro da faixa de 1Ω a 500Ω , não exerceu impacto significativo na acurácia do algoritmo de localização de faltas proposto, tanto na parte aérea quanto na parte subterrânea da linha de transmissão não homogênea. As pequenas variações observadas, principalmente para resistência de 1Ω , mantiveram-se localizadas e não comprometeram o desempenho geral da metodologia. O erro percentual máximo registrado foi de $5,2\%$, estando associado à posição da falta na linha e não à resistência adotada, o que reforça a robustez do método

Figura 23 – Erro percentual associado a variação da resistência de falta na parte subterrânea da linha de transmissão



Fonte: Autoria própria.

frente a diferentes níveis de resistência de falta (SAHA; IZYKOWSKI; ROSOLOWSKI, 2009).

5.2 Efeitos da variação do ângulo de incidência

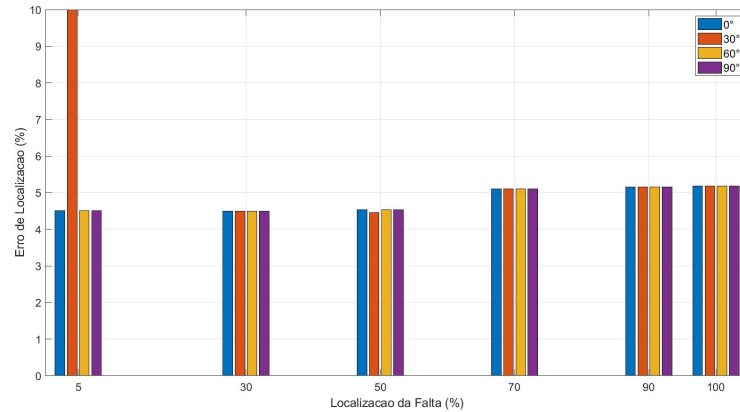
As Figuras 24 e 25 apresentam o erro percentual na localização de faltas do tipo AT para diferentes ângulos de incidência, considerando uma resistência de falta fixa de 100 Ω. Esse valor foi adotado por representar uma condição intermediária de resistência de falta, suficientemente desafiadora para o algoritmo sem causar distorções excessivas nos transitórios.

De modo geral, observou-se que a variação do ângulo de incidência (AI) não exerceu impacto significativo sobre os resultados de localização de faltas. Apesar de pequenas diferenças nos erros localizados nos pontos de 50% (variação de 0,08%) e 70% (variação de 0,23%) da linha subterrânea, essas variações mostraram-se pouco representativas na maioria dos cenários analisados. No entanto, para faltas com ângulo de incidência de 30°, verificou-se maior imprecisão nas regiões extremas da linha de transmissão — tanto na seção aérea quanto na subterrânea — com erros de localização que ultrapassaram 10% nesses trechos.

Observa-se que em aproximadamente 50% da extensão de cada trecho (aéreo e subterrâneo), os erros se mantiveram reduzidos, evidenciando a maior confiabilidade da metodologia nessas regiões centrais, conforme apresentado na literatura (OLIVEIRA et al., 2024). Além disso, conforme previsto pela Teoria das Ondas Viajantes, não foi identificada influência significativa do ângulo de incidência no desempenho do sistema estudado,

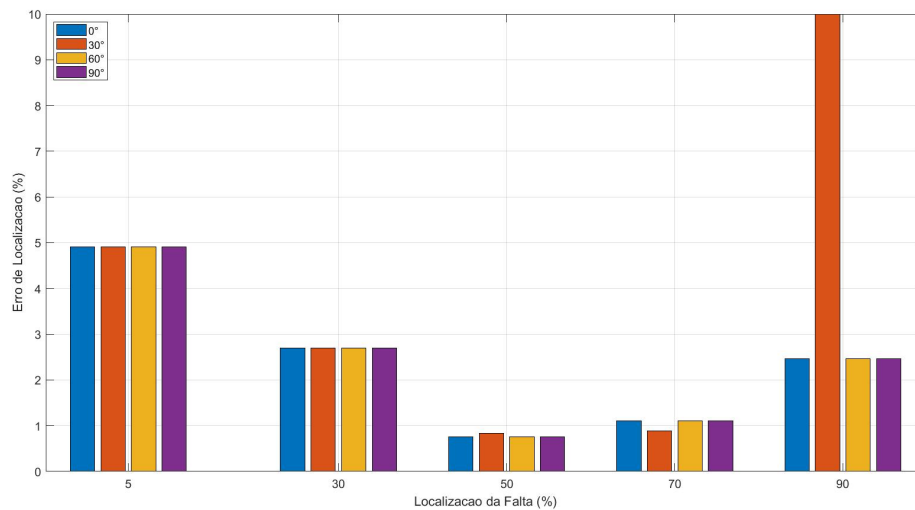
reforçando a robustez do algoritmo frente a diferentes condições de falta (SAHA; IZYKOWSKI; ROSOŁOWSKI, 2009).

Figura 24 – Erro percentual associado a variação do ângulo de incidência na parte aérea da linha de transmissão



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 – Erro percentual associado a variação do ângulo de incidência na parte subterrânea da linha de transmissão

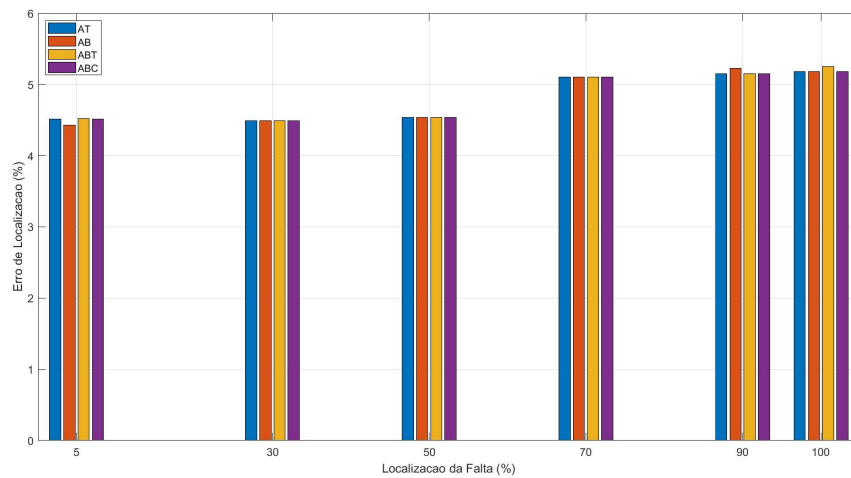


Fonte: Autoria própria.

5.3 Efeitos da variação do tipo de falta

A Figura 26 apresenta os erros de localização de falta ao longo da parte aérea da linha de transmissão, considerando diferentes tipos de faltas, com ângulo de incidência de 60° e resistência de falta de 100Ω . De forma geral, observa-se que a variação do tipo de falta não exerceu impacto significativo sobre a precisão do método proposto, uma vez que os erros permaneceram baixos e consistentes entre os diferentes cenários.

Figura 26 – Erro percentual associado a variação do TF na parte aérea da linha de transmissão

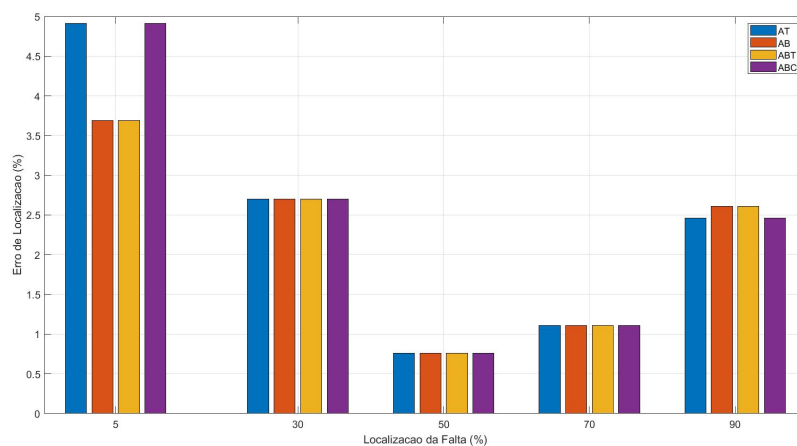


Fonte: Autoria própria.

A Figura 27 refere-se aos erros obtidos na parte subterrânea da linha. Assim como no trecho aéreo, a variação do tipo de falta não resultou em grandes discrepâncias nos valores de erro. No entanto, no início da linha subterrânea, os casos de faltas AB e ABT apresentaram erros de localização inferiores em comparação aos demais tipos de falta. Por outro lado, no final da linha, esses mesmos tipos de falta resultaram em erros mais elevados que os demais.

Dessa forma, a variação do tipo de falta não impacta significativamente a precisão da metodologia adotada, tanto na parte aérea quanto na parte subterrânea da linha de transmissão. Pequenas variações observadas em pontos específicos não comprometem a confiabilidade do método, que se mantém eficaz independentemente do tipo de falta considerado, conforme presente na literatura (SAHA; IZYKOWSKI; ROSOŁOWSKI, 2009).

Figura 27 – Erro percentual associado a variação do TF na parte subterrânea da linha de transmissão



Fonte: Autoria própria.

As variáveis analisadas apresentaram pouco impacto individual na localização das faltas, o que evidencia a robustez da metodologia mesmo diante de diferentes condições de operação. A precisão média obtida foi de 96,24%, demonstrando um desempenho consistente do modelo. Além disso, destaca-se a máxima precisão de 99,35%, alcançada no final da linha subterrânea, o que comprova o potencial da abordagem para localizar faltas com alta precisão em pontos críticos de sistemas de transmissão não homogêneos.

Dentro do subconjunto dos cenários que não foram utilizados para a análise, conforme a Tabela 5, observa-se que a falta do tipo BC é a mais recorrente entre os cenários simulados, com predominância especialmente em ângulos de incidência mais altos e resistências de falta elevadas. Já os ângulos intermediários, como 30°, apresentaram uma maior diversidade de tipos de faltas, ainda que com menor frequência individual. Além disso, foi possível notar que o aumento da resistência de falta tende a elevar o número de ocorrências, especialmente para certos tipos, como BC.

Tabela 5 – Número de ocorrências por Tipo de falta (T_f), Ângulo de incidência (A_i) e Resistência de falta (R_f)

A_i	T_f	$R_f = 1 W$	$R_f = 50 W$	$R_f = 100 W$	$R_f = 500 W$
0°	BC	8	8	8	8
	BT	0	0	0	6
30°	AT	1	2	2	2
	BC	8	8	8	8
	BCT	1	2	2	4
	ACT	2	1	1	1
	ABT	2	2	2	2
	ABC	1	2	2	2
	AC	1	2	2	2
	BT	2	2	2	2
	CT	2	2	2	2
	AB	2	2	2	2
60°	AT	0	0	0	4
	BC	8	8	12	8
	BCT	1	2	2	6
	ACT	3	1	1	2
	ABC	0	0	0	5
	AC	0	0	0	5
90°	BC	12	12	12	12
	BCT	0	0	0	2
	CT	0	0	0	1

CONCLUSÕES

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de investigar o comportamento das Ondas Viajantes em sistemas de transmissão não homogêneos — compostos por trechos aéreos e subterrâneos — visando à localização precisa de faltas com base nos transitórios gerados. Para isso, foi adotada a Teoria das Ondas Viajantes, em conjunto com o filtro *Differentiator-Smoother*, com a finalidade de extrair os dados característicos dos sinais e mitigar ruídos que poderiam comprometer a detecção do tempo de chegada das frentes de onda.

A modelagem do sistema não homogêneo seguiu os parâmetros definidos por Raveesh et al. (2022), garantindo uma representação realista das características elétricas envolvidas. As simulações contemplaram um conjunto amplo de 1600 cenários, variando ângulo de incidência, tipo de falta e resistência de falta. Os resultados demonstraram que o método proposto apresenta elevada robustez e precisão, com 81% dos casos apresentando erros inferiores a 10% — critério adotado para a classificação dos resultados como satisfatórios. Além disso, a precisão média obtida entre todos os cenários considerados foi de 96,24%, reforçando a eficácia da metodologia na localização de faltas em sistemas de transmissão não homogêneos. A melhor precisão encontrada foi de 99,35% e foi registrada especificamente no trecho final da linha subterrânea, evidenciando que o método pode apresentar maior exatidão nessa região do sistema.

Verificou-se que a variação da resistência de falta, dentro da faixa de 1Ω a 500Ω , não impactou significativamente a acurácia do algoritmo proposto. De modo semelhante, a alteração do ângulo de incidência também não comprometeu os resultados, exceto em situações específicas — como nos casos com ângulo de 30° — em que foram registrados erros superiores a 10% nas extremidades da linha. No que se refere à variação do tipo de falta, os resultados mantiveram-se globalmente consistentes; contudo, faltas do tipo AB e

ABT apresentaram variações de desempenho conforme a localização da ocorrência, com menor erro no início e maior imprecisão no final do trecho subterrâneo da linha.

Além disso, foi identificado um comportamento em “V” na distribuição dos erros ao longo das linhas, com melhores resultados concentrados na região central de cada trecho (próxima a 50%), padrão coerente com o que é previsto pela literatura (OLIVEIRA; MOREIRA; PICANÇO, 2023).

Com tempo médio de processamento de aproximadamente 10 milissegundos por cenário, a abordagem proposta mostra-se viável para aplicações que exigem resposta rápida. Dessa forma, os resultados obtidos confirmam a eficácia da metodologia baseada na TOV associada ao filtro DS para localização de faltas em sistemas não homogêneos, mesmo sob diferentes condições operacionais.

6.1 Trabalhos futuros

A análise desenvolvida neste trabalho reforça o potencial da Teoria das Ondas Viajantes, associada ao filtro *Differentiator-Smoother*, na localização de faltas em linhas de transmissão não homogêneas. Os resultados obtidos evidenciam a robustez da metodologia mesmo sob diferentes condições de operação. No entanto, diversos desdobramentos podem ser explorados em estudos futuros para ampliar o escopo e a aplicabilidade da técnica.

Inicialmente, propõe-se a análise da influência da frequência de amostragem sobre o desempenho do algoritmo. A variação desse parâmetro pode impactar diretamente a resolução temporal na detecção dos transitórios e, conseqüentemente, a precisão na localização das faltas. Avaliar o comportamento da metodologia sob diferentes frequências de amostragem é essencial para validar sua aplicabilidade em sistemas com restrições de aquisição de dados.

Outro ponto relevante refere-se à utilização do sinal de corrente como alternativa ou complemento ao sinal de tensão, que foi utilizado exclusivamente neste estudo. A análise de corrente pode oferecer novas perspectivas na identificação do tempo de chegada das frentes de onda, além de possibilitar a comparação entre os dois tipos de sinal quanto à sua eficácia para fins de localização.

Adicionalmente, sugere-se a comparação com outras técnicas de Processamento Digital de Sinais (PDS), como transformadas Wavelet, decomposição em modos empíricos (EMD), Decomposição Variacional dos Modos (VMD) e filtragem adaptativa. Essas técnicas podem ser investigadas como alternativas ao filtro DS ou como ferramentas complementares, visando à melhoria na extração de características dos sinais transitórios.

Por fim, outra linha de pesquisa futura inclui a aplicação da metodologia desenvol-

vida em sistemas de distribuição de energia elétrica, especialmente aqueles compostos por linhas não homogêneas, como as que combinam trechos aéreos e subterrâneos. Esse tipo de aplicação permitiria avaliar a robustez e adaptabilidade do algoritmo proposto em contextos com topologias e características distintas das redes de transmissão tradicionalmente estudadas.

Referências Bibliográficas

ALVES, M. H. S. et al. Teoria das ondas viajantes e filtragem adaptativa de sinais para localização de faltas em linhas de transmissão. Associação Brasileira de Inteligência Computacional - ABRICOM, p. 1–6, 10 2015. Disponível em: <https://sbic.org.br/eventos/cbic_2015/cbic2015_submission_114/>.

BINOTTO, J. M.; ZAMODZL, R.; TEIXEIRA, G. P. *Sistemas Elétricos: Componentes*. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book. p.97. Acesso em: 18 nov. 2024. ISBN 9788595026278. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595026278/>>.

FILHO, J. M. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*. 3ª. ed. São Paulo: Editora Érica, 2018.

FILHO, J. M. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. ISBN 9788521637165.

GALE, P. et al. Fault location based on travelling waves. In: *1993 Fifth International Conference on Developments in Power System Protection*. [S.l.: s.n.], 1993. p. 54–59.

GRAINGER, J. J.; STEVENSON, W. D. *Power system analysis*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1994.

HASHEMIAN, S. M.; HASHEMIAN, S. N.; GHOLIPOUR, M. Unsynchronized parameter free fault location scheme for hybrid transmission line. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 192, p. 106982, 3 2021. ISSN 0378-7796.

IBRAHIM, R. M. *Análise e Controle de Sistemas Elétricos de Potência*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011.

INTERFACE, J. *Disparos monopolares na Rede de distribuição melhoram os índices de DEC e FEC*. 2018. Edição 44, outubro/novembro 2018. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/view/62214670/jornal-interface-ed-44-out-nov-2018>>. Acessado em: 10 de janeiro de 2025.

LEITE, E. J. S. *Método Generalizado de Localização de Faltas Baseado na Teoria de Ondas Viajantes para Linhas de Transmissão Não-Homogêneas*. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2020. Disponível em: <[https://lapse.unb.br/publications/thesis/\[2020\]EduardoLeiteJr-M-C9A9todoGeneralizadodeLocaliza%C3%A7%C3%A3o%20deFaltas%20Baseadoem%20TW%20para%20LTs%20N%C3%A3o-Homog%C3%AAs.pdf](https://lapse.unb.br/publications/thesis/[2020]EduardoLeiteJr-M-C9A9todoGeneralizadodeLocaliza%C3%A7%C3%A3o%20deFaltas%20Baseadoem%20TW%20para%20LTs%20N%C3%A3o-Homog%C3%AAs.pdf)>.

LEITE, E. J. S. Método generalizado de localização de faltas baseado na teoria de ondas viajantes para linhas de transmissão não-homogêneas. 2021.

LOPES, F. et al. Using the differentiator-smoother filter to analyze traveling waves on transmission lines: Fundamentals settings and implementation. In: *Intern. Conf. on Power Systems Transientes*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6.

MANSUR, R.; LOPES, I. Desafios na implantação de linhas de transmissão aéreas, subaquáticas e subterrâneas. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, v. 2, n. 1, 2022.

MARTI, J. Accurate modelling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulations. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-101, p. 147–157, 1982.

MIRANDA, V. C. P. *Análise de Modelos para a Localização de Faltas em Linhas de Transmissão Baseada na Teoria das Ondas Viajantes*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, Colegiado de Engenharia Elétrica, Bom Jesus da Lapa-BA, jun 2025. Orientadora: Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira.

MOHAN, N. Sistemas elétricos de potência—curso introdutório. *Ned Mohan-1. ed.-Rio de Janeiro: LTC*, 2016.

OLIVEIRA, A.; MOREIRA, F.; PICANÇO, A. Accuracy analysis using the emd and vmd for two-terminal transmission line fault location based on traveling wave theory. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 224, p. 109667, 2023.

OLIVEIRA, A. et al. Traveling wave fault location for ac transmission lines: an approach based on the application of emd and teager energy operator. *Electrical Engineering*, Springer, p. 1–13, 2024.

OLIVEIRA, A. P.; MOREIRA, F. A.; PICANÇO, A. F. Aplicação da transformada de hilbert-huang na localização de faltas em linhas de transmissão utilizando a teoria das ondas viajantes. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, v. 2, n. 1, 2022.

OLIVEIRA, A. P.; MOREIRA, F. A.; PICANÇO, A. F. Localização de faltas em linhas de transmissão baseada na decomposição variacional dos modos e operador de energia teager. In: *Congresso Brasileiro de Automática-CBA*. [S.l.: s.n.], 2022. v. 3, n. 1.

OLIVEIRA, I. C. de et al. *Proteção de Sistemas Elétricos*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. ISBN 9788572696315.

ONS. *Estatísticas de falhas no sistema de transmissão apresentadas na 126ª Reunião do CMSE*. 2013. Dados citados por Folha de S. Paulo em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/1244577-sistema-eletrico-brasileiro-tem-mais-de-seis-falhas-por-dia-diz-ons.shtml>. Acessado em 10 jul. 2025.

PEIXOTO, C. D. *Linhas de transmissão subterrâneas de alta tensão*. 2022. Acessado em: 1 jan. 2025. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/linhas-de-transmissao-subterraneas-de-alta-tensao/>.

- PINTO, M. de O. *Energia Elétrica - Geração, Transmissão e Sistemas Interligados*. São Paulo, Brasil: Editora GEN, 2000. ISBN 978-85-12345-67-8.
- PISSO, J. G. A. *Diseño de Líneas de Transmisión Subterráneas*. 2023. Acessado em: 2 jan. 2025. Disponível em: <https://site.fee.unicamp.br/sites/default/files/uploads/pisso/diseno_de_l.t._subterraneas_jga.pdf>.
- RAVESH, N. R. et al. A hybrid artificial neural network and wavelet packet transform approach for fault location in hybrid transmission lines. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 204, p. 107721, 2022.
- REZAEI, D.; GHOLIPOUR, M.; PARVARESH, F. A single-ended traveling-wave-based fault location for a hybrid transmission line using detected arrival times and tw s polarity. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 210, p. 108058, 2022.
- REZAEI, D.; GHOLIPOUR, M.; PARVARESH, F. A single-ended traveling-wave-based fault location for a hybrid transmission line using detected arrival times and tws polarity. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 210, p. 108058, 9 2022. ISSN 0378-7796.
- RIBEIRO, E.; LOPES, F.; HONORATO, T. Modelagem do filtro differentiator-smoother: Validação via análise de transitórios e resposta em frequência de dispositivos microprocessados reais. In: *XIII Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica (CBQEE)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6.
- RIBEIRO, E. P. A. et al. Atp/models differentiator-smoother filter model validated using actual time-domain relay. In: IEEE. *2018 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)*. [S.l.], 2018. p. 1–4.
- SAHA, M. M.; IZYKOWSKI, J. J.; ROSOLOWSKI, E. *Fault location on power networks*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2009.
- SCHWEITZER, E. O.; KASZTENNY, B.; MYNAM, M. V. Performance of time-domain line protection elements on real-world faults. 2015.
- SWART, P. J.; PERERA, L. A. D. R.; VOSLOO, H. W. Traveling wave fault location in power transmission systems: An overview. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 39, n. 2, p. 153–160, 1996.
- VITOR, B. C. *Análise da influência dos dispositivos de medição na localização de faltas em linhas de transmissão utilizando filtro DS e Teoria das Ondas Viajantes*. Bom Jesus da Lapa, BA, Brasil, 2025.
- WEEDY, B. M. et al. *Electric power systems*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.
- XIE, L. et al. A novel fault location method for hybrid lines based on traveling wave. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, Elsevier, v. 141, p. 108102, 10 2022. ISSN 0142-0615.
- ZHANG, Y. et al. Fault location for overhead and cable hybrid transmission line in vsc-hvdc system. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 195, p. 107122, 2021.
- ZHANG, Y. et al. Fault location for overhead and cable hybrid transmission line in vsc-hvdc system. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 195, p. 107122, 6 2021. ISSN 0378-7796.



CÓDIGOS PARA GERAÇÃO DE ARQUIVOS .ATP

A.1 Faltas envolvendo o terra

```
%CODIGO PARA GERACAO DE ARQUIVOS .ATP COM FALTAS ENVOLVENDO TERRA
```

```
% Limpa o console e define variaveis de controle de erro
```

```
clear;
```

```
clc;
```

```
% Muda o diretorio atual para o especificado e armazena o caminho real
```

```
b=cd('C:\ATP'); %esse diretorio deve conter uma pasta "Registros" e o arquivo .atp do sistema modelo
```

```
realpath = pwd;
```

```
% Define os parametros do sistema
```

```
locais = 11; angulos = 4; impedancias = 4; tipos = 6; % sistema escolhido
```

```
% Define os valores dos parametros
```

```
loc = {'8.05', '48.3', '80.5', '0113', '0145', '0161', '0163', '0171', '0177', '0183', '0190'};\
```

```
ang = {'000', '030', '060', '090'};\
```

```
imp = {'0001', '0050', '0100', '0500'};\
```

```
tip = {'_AT', '_BT', '_CT', 'ABT', 'ACT', 'BCT'};\
```

```
%, 'ABC', '_AB', '_AC', '_BC'};
```

```

% Define o arquivo do sistema modelo .atp na variavel modelo_ATP
modelo_ATP = 'NomeDoArquivo.atp';

% Cria e abre um arquivo .bat para escrita, na pasta "Registros"
fd3 = fopen('Registros\\simular_arquivos_atp.bat', 'w');

% Escreve comandos no arquivo .bat, que e executado no prompt de comando
fprintf(fd3, 'ECHO OFF\n'); %desativa a exibicao dos comandos que estao sendo
    executados no prompt de comando
fprintf(fd3, 'REM\n'); %permite comentarios no arquivo .bat
fprintf(fd3, 'cd D:\\ATP\\atpmingw'); %define o diretorio do arquivo tpbigG.exe

%os arquivos .ATP gerados posteriormente por esse codigo devem estar no
%mesmo diretorio do programa tpbigG.exe (copiar os arquivos gerados para
%la)
%o programa tpbigG.exe executa arquivos .atp

% Lacos para percorrer todas as combinacoes de locais, angulos, impedancias e tipos
for i = 1:locais
    for j = 1:angulos
        for k = 1:impedancias
            for l = 1:tipos

                % Cria o nome do arquivo ATP com base na combinacao atual de parametros
                arquivo_ATP = sprintf('Registros\\%sang%SZ%s%s.atp', loc{i}, ang{j}, imp
                    {k}, tip{l}); %cria arquivo ATP
                arquivo_1 = sprintf('%sang%SZ%s%s.1', loc{i}, ang{j}, imp{k}, tip{l}); %
                    cria arquivo models

                % Adiciona comandos ao arquivo .bat
                fprintf(fd3, 'tpbigG_%sang%SZ%s%s.atp\n', loc{i}, ang{j}, imp{k}, tip{l}
                    }); %executa o programa tpbigG com o arquivo .atp
                fprintf(fd3, 'REN MODELS.1_%s\n', arquivo_1); %renomeia o arquivo MODELS
                    .1 gerado
                fprintf(fd3, '@if exist *.dbg del *.dbg\n'); %exclui os arquivos .dbg
                fprintf(fd3, 'REM\n');

                fd1 = fopen(modelo_ATP, 'r'); %abre arquivo para leitura
                fd2 = fopen(arquivo_ATP, 'w'); %abre arquivo para escrita
                nL = 1;
                linha = fgets(fd1);
                fprintf(fd2, '%s', linha);

                while ~feof(fd1)
                    nL = nL + 1;
                    linha = fgets(fd1);

```

```
        fprintf(fd2, '%s', linha);
    end

    %angulo
    %30, 60 e 90, 00
    % Aqui altera a parametrizacao do angulo

    x=[48 48 48]; %000

    defineang = {'false', 'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em
        todos os casos

    for z=1:angulos
        if strcmp(ang{z}, ang{j})
            defineang(z) = {'true'};
        end
    end

    verific000 = {'true', 'false', 'false', 'false'};
    verific030 = {'false', 'true', 'false', 'false'};
    verific060 = {'false', 'false', 'true', 'false'};
    verific090 = {'false', 'false', 'false', 'true'};

    if isequal(defineang, verific000) %verifica se as variaveis logicas sao exatamente
        iguais
        x = [48 51 51]; % 000 (0,033 s) = 033 % codigo ascii para o numero, vai de 48 =0
            ate 57 = 9. sao 3 valores porque o tempo tem 3 algarismos
    elseif isequal(defineang, verific030)
        x = [48 51 53]; % 030 (0,035 s) = 035
    elseif isequal(defineang, verific060)
        x = [48 51 54]; % 060 (0.036 s) = 036
    elseif isequal(defineang, verific090)
        x = [48 51 56]; % 090 (0,038 s) = 008
    end

    % A- 2481+130
    % B- 2417
    % C- 2581

    %Calcular quantos bytes tem ate a posicao do angulo de incidencia no
    %codigo .atp

    % Define o caminho do arquivo
    b=cd('C:\ATP');
    arquivo = 'NomeDoArquivo.atp';

    % le o conteudo do arquivo
```



```

verifictipBT = {'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', '
    false', 'false', 'false'};
verifictipCT = {'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', '
    false', 'false', 'false'};
verifictipABT = {'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', '
    false', 'false', 'false'};
verifictipACT = {'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false', '
    false', 'false', 'false'};
verifictipBCT = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false', '
    false', 'false', 'false'};
% verifictipABC = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true', '
    false', 'false', 'false'};
% verifictipAB = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', '
    true', 'false', 'false'};
% verifictipAC = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', '
    false', 'true', 'false'};
% verifictipBC = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', '
    false', 'false', 'true'};

%Faltas com Terra

%fseek(fd2, (BytesTerra-1), 'bof'); %abre a chave da falta em B
%fwrite(fd2, x, 'char');

if isequal(definetip, verifictipAT)

    % AT: Na definicao do tipo, a acao fseek/fwrite substitui o tempo de abertura da
        chave para as fases
    % que nao queremos que operem para o tempo de 9.999 segundos
    % A funcao fseek posiciona o cursor de acordo com a quantidade de
    % caracteres anteriores (que e o valor numerico na funcao)
    %Quantidade de caracteres para a falta em:
    %A - 2232; B - 2150; C - 2314

    fseek(fd2, (BytesIncidenciaB-2), 'bof'); %abre a chave da falta em B
    fwrite(fd2, x, 'char');
    fseek(fd2, (BytesIncidenciaC-2), 'bof'); %abre a chave da falta em C
    fwrite(fd2, x, 'char');

elseif isequal(definetip, verifictipBT)
    % BT
    fseek(fd2, (BytesIncidenciaA-2), 'bof');
    fwrite(fd2, x, 'char'); %modifica o angulo para fase A
    fseek(fd2, (BytesIncidenciaC-2), 'bof');
    fwrite(fd2, x, 'char'); %modifica o angulo para fase C

elseif isequal(definetip, verifictipCT)

```

```
% CT
fseek(fd2, (BytesIncidenciaA-2), 'bof');
fwrite(fd2, x, 'char'); %modifica o angulo para fase A
fseek(fd2, (BytesIncidenciaB-2), 'bof'); %abre a chave da falta em B
fwrite(fd2, x, 'char');

elseif isequal(definetip, verifictipABT)
% ABT
fseek(fd2, (BytesIncidenciaC-2), 'bof'); %abre a chave da falta em C
fwrite(fd2, x, 'char');

elseif isequal(definetip, verifictipACT)
% ACT
fseek(fd2, (BytesIncidenciaB-2), 'bof'); %abre a chave da falta em B
fwrite(fd2, x, 'char');

elseif isequal(definetip, verifictipBCT)
% BCT
fseek(fd2, (BytesIncidenciaA-2), 'bof'); %abre a chave da falta em A
fwrite(fd2, x, 'char');

elseif isequal(definetip, verifictipABC)
% ABC
% nao faz nada

elseif isequal(definetip, verifictipAB)
% AB
fseek(fd2, (BytesIncidenciaC-2), 'bof'); %abre a chave da falta em C
fwrite(fd2, x, 'char');

%Aqui irei abrir a chave conectada ao no XX0003XX0002 para
%desconectar o aterramento das faltas

fseek(fd2, 2661, 'bof');
fwrite(fd2, x, 'char');

elseif isequal(definetip, verifictipAC)
% AC

fseek(fd2, 2546, 'bof'); %abre a chave da falta em B
fwrite(fd2, x, 'char');

%Aqui irei abrir a chave conectada ao no XX0003XX0002 para
%desconectar o aterramento das faltas

fseek(fd2, 2661, 'bof');
fwrite(fd2, x, 'char');
```

```
elseif isequal(definetip, verifictipBC)
    % BC

    fseek(fd2, 2629, 'bof'); %abre a chave da falta em A
    fwrite(fd2, x, 'char');

    %Aqui irei abrir a chave conectada ao no XX0003XX0002 para
    %desconectar o aterramento das faltas

    fseek(fd2, 2661, 'bof');
    fwrite(fd2, x, 'char');

end

x=[48 48 48]; %000

defineang = {'false', 'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em
    todos os casos

for z=1:angulos
    if strcmp(ang{z}, ang{j})
        defineang(z) = {'true'};
    end
end

end

%impedancia
% Aqui altera a parametrizacao da impedancia
x = [46 48 48 48 49];

defineimp = {'false', 'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em
    todos os casos

for z=1:impedancias
    if strcmp(imp{z}, imp{k})
        defineimp(z) = {'true'};
    end
end

end

%Calcular quantos bytes tem ate a posicao do angulo da impedancia no
%codigo .atp

% Define o caminho do arquivo
b=cd('C:\ATP');
arquivo = 'NomeDoArquivo.atp';

% le o conteudo do arquivo
```

```
conteudo = fileread(arquivo);

% Define o caractere a ser buscado
ImpedanciaSetado = '888'; % Substitua pelo valor desejado

% Encontra TODAS as posicoes do caractere alvo
posicoes = strfind(conteudo, ImpedanciaSetado);
%posicoes = strfind(upper(conteudo), 'IMPEDANCIA'); % Ignora diferenca entre
    maiusculas e minusculas

% Converte a string completa para bytes assumindo codificacao UTF-8
conteudo_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');

% Obtem os bytes ate a primeira, segunda e terceira ocorrencias
BytesImpedancia = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(1)-3), 'UTF-8'));
% if isempty(posicoes) || posicoes(1) < 2
% error('A variavel posicoes esta vazia ou tem um valor invalido.');
```

```
% end
%
%% Converter para string (se necessario) e garantir indexacao valida
% BytesImpedancia = length(unicode2native(char(conteudo(1:posicoes(1)-2)), 'UTF-8'));

verificimp01 = {'true', 'false', 'false', 'false'};
verificimp50 = {'false', 'true', 'false', 'false'};
verificimp100 = {'false', 'false', 'true', 'false'};
verificimp500 = {'false', 'false', 'false', 'true'};

if isequal(defineimp, verificimp01)
    x = [48 48 49]; % codigo ascii para o numero, vai de 48 =0 ate 57 = 9. sao 3
        valores porque o tempo tem 3 algarismos
        % imp = 001
elseif isequal(defineimp, verificimp50)
    x = [48 53 48]; % imp = 050
elseif isequal(defineimp, verificimp100)
    x = [49 48 48]; % imp = 100
elseif isequal(defineimp, verificimp500)
    x = [53 48 48]; % imp = 500
end

%quantidade de caracteres da impedancia da falta

fseek(fd2,BytesImpedancia, 'bof');
fwrite(fd2, x, 'char');
```

```
%LOCAIS
% Aqui altera a parametrizacao do local
x = [46 48 48 48 49];
```

```

defineloc = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
            'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em todos os casos

for z=1:locais
    if strcmp(loc{z}, loc{i})
        defineloc(z) = {'true'};
    end
end

verificlocA = {'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocB = {'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocC = {'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocD = {'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocE = {'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocF = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocG = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocH = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true',
              'false', 'false', 'false'};
verificlocI = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
              'true', 'false', 'false'};
verificlocJ = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
              'false', 'true', 'false'};
verificlocK = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
              'false', 'false', 'true'};

if isequal(defineloc, verificlocA) % '8.05'
    x = [56 46 48 53];
elseif isequal(defineloc, verificlocB) % '48.3'
    x = [52 56 46 51];
elseif isequal(defineloc, verificlocC) % '80.5'
    x = [56 48 46 53];
elseif isequal(defineloc, verificlocD) % '0113'
    x = [48 49 49 51];
elseif isequal(defineloc, verificlocE) % '0145'
    x = [48 49 52 53];
elseif isequal(defineloc, verificlocF) % '0161'
    x = [48 49 54 49];
elseif isequal(defineloc, verificlocG) % '0163'
    x = [48 49 54 51];

```

```
elseif isequal(defineloc, verificlocH) % '0171'
    x = [48 49 55 49];
elseif isequal(defineloc, verificlocI) % '0177'
    x = [48 49 55 55];
elseif isequal(defineloc, verificlocJ) % '0183'
    x = [48 49 56 51];
elseif isequal(defineloc, verificlocK) % '0191'
    x = [48 49 57 48];
end

    %Calcular quantos bytes tem ate a posicao do local da falta no codigo .atp

% Define o caminho do arquivo
b=cd('C:\ATP');
arquivo = 'NomeDoArquivo.atp';

% le o conteudo do arquivo
conteudo = fileread(arquivo);

% Define o caractere a ser buscado
LocalASetado = 'B8.05A'; % Substitua pelo valor desejado
LocalBSetado = 'B8.05B';
LocalCSetado = 'B8.05C';

% Encontra TODAS as posicoes do caractere alvo
posicaoLocalA = strfind(conteudo, LocalASetado);
posicaoLocalB = strfind(conteudo, LocalBSetado);
posicaoLocalC = strfind(conteudo, LocalCSetado);

% if length(posicoes) < 3
% fprintf('Menos de tres ocorrencias de "%s" foram encontradas no arquivo.\n',
    AnguloIncidenciaSetado);
% else
    % Converte a string completa para bytes assumindo codificacao UTF-8
    posicaoLocalA_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');
    posicaoLocalB_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');
    posicaoLocalC_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');

    % Obtem os bytes ate a primeira, segunda e terceira ocorrencias
    BytesIncidenciaA = length(unicode2native(conteudo(1:(posicaoLocalA-2)), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaB = length(unicode2native(conteudo(1:(posicaoLocalB-2)), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC = length(unicode2native(conteudo(1:(posicaoLocalC-2)), 'UTF-8'));

% Os valores numericos do fseek indicam as posicoes dos dados que precisam ser
    alterados.
%que sao as 3 fases do local do curto-circuito, onde a chave de curto se prende
```

```

fseek(fd2, BytesIncidenciaA, 'bof'); %faltaB
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaB, 'bof'); %faltaA
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaC, 'bof'); %faltaC
fwrite(fd2, x, 'char');

    fclose(fd1);
    fclose(fd2);
        end
    end
end
end

% Escreve comandos no arquivo .bat
% fileID = fopen('Registros\simular_arquivos_atp.bat', 'a');
% fprintf(fileID, '@if exist Models.1 del Models.1\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist Graphics del Graphics\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.aux del *.aux\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.bin del *.bin\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.tmp del *.tmp\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.dbg del *.dbg\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.lis del *.lis\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.pch del *.pch\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.atp del *.atp\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.bak del *.bak\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.pl4 del *.pl4\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.mdl del *.mdl\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.pl4 del *.pl4\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.atp del *.atp\r\n');
% fclose(fileID);
fclose(fd3);

```

A.2 Faltas sem o terra

```
%codigo PARA GERACAO DE ARQUIVOS .ATP COM FALTAS SEM TERRA
```

```
% Limpa o console e define variaveis de controle de erro
clear;
clc;
```

```
% Muda o diretorio atual para o especificado e armazena o caminho real
```

```

b=cd('C:\ATP'); %esse diretorio deve conter uma pasta "Registros" e o arquivo .atp do
    sistema modelo
realpath = pwd;

% Define os parametros do sistema
locais = 11; angulos = 4; impedancias = 4; tipos = 4; % sistema escolhido

% Define os valores dos parametros
loc = {'8.05', '48.3', '80.5', '0113', '0145', '0161', '0163', '0171', '0177', '0183', '0190'};
ang = {'000', '030', '060', '090'};
imp = {'0001', '0050', '0100', '0500'};
tip = {'ABC', '_AB', '_AC', '_BC'};
%tip = {'_AT', '_BT', '_CT', 'ABT', 'ACT', 'BCT'};

% Define o arquivo do sistema modelo .atp na variavel modelo_ATP
modelo_ATP = 'NomeDoArquivo.atp';

% Cria e abre um arquivo .bat para escrita, na pasta "Registros"
fd3 = fopen('Registros\simular_arquivos_atp.bat', 'w');

% Escreve comandos no arquivo .bat, que e executado no prompt de comando
fprintf(fd3, 'ECHO OFF\n'); %desativa a exibicao dos comandos que estao sendo
    executados no prompt de comando
fprintf(fd3, 'REM\n'); %permite comentarios no arquivo .bat
fprintf(fd3, 'cd D:\ATP\atpmingw'); %define o diretorio do arquivo tpbigG.exe

%os arquivos .ATP gerados posteriormente por esse codigo devem estar no
%mesmo diretorio do programa tpbigG.exe (copiar os arquivos gerados para
%la)
%o programa tpbigG.exe executa arquivos .atp

% lacos para percorrer todas as combinacoes de locais, angulos, impedancias e tipos
for i = 1:locais
    for j = 1:angulos
        for k = 1:impedancias
            for l = 1:tipos

                % Cria o nome do arquivo ATP com base na combinacao atual de parametros
                arquivo_ATP = sprintf('Registros\%sang%SZ%s%.atp', loc{i}, ang{j}, imp
                    {k}, tip{l}); %cria arquivo ATP
                arquivo_1 = sprintf('%sang%SZ%s%.1', loc{i}, ang{j}, imp{k}, tip{l}); %
                    cria arquivo models

                % Adiciona comandos ao arquivo .bat
                fprintf(fd3, 'tpbigG_%sang%SZ%s%.atp\n', loc{i}, ang{j}, imp{k}, tip{l}
                    ); %executa o programa tpbigG com o arquivo .atp
                fprintf(fd3, 'REN MODELS.1_%s\n', arquivo_1); %renomeia o arquivo MODELS

```

```

        .1 gerado
        fprintf(fd3, '@if_exist*.dbg\del*.dbg\n'); %exclui os arquivos .dbg
        fprintf(fd3, 'REM\n');

        fd1 = fopen(modelo_ATP, 'r'); %abre arquivo para leitura
        fd2 = fopen(arquivo_ATP, 'w'); %abre arquivo para escrita
        nL = 1;
        linha = fgets(fd1);
        fprintf(fd2, '%s', linha);

        while ~feof(fd1)
            nL = nL + 1;
            linha = fgets(fd1);
            fprintf(fd2, '%s', linha);
        end

%angulo
%30, 60 e 90, 00
% Aqui altera a parametrizacao do angulo

x=[48 48 48]; %000

defineang = {'false', 'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em
            todos os casos

for z=1:angulos
    if strcmp(ang{z}, ang{j})
        defineang(z) = {'true'};
    end
end

verific000 = {'true', 'false', 'false', 'false'};
verific030 = {'false', 'true', 'false', 'false'};
verific060 = {'false', 'false', 'true', 'false'};
verific090 = {'false', 'false', 'false', 'true'};

if isequal(defineang, verific000) %verifica se as variaveis logicas sao exatamente
    iguais
    x = [48 51 51]; % 000 (0,033 s) = 033 % codigo ascii para o numero, vai de 48 =0
        ate 57 = 9. sao 3 valores porque o tempo tem 3 algarismos
elseif isequal(defineang, verific030)
    x = [48 51 53]; % 030 (0,035 s) = 035
elseif isequal(defineang, verific060)
    x = [48 51 54]; % 060 (0.036 s) = 036
elseif isequal(defineang, verific090)
    x = [48 51 56]; % 090 (0,038 s) = 008

```

```

end

% A- 2481+130
% B- 2417
% C- 2581

%Calcular quantos bytes tem ate a posicao do angulo de incidencia no
%codigo .atp

% Define o caminho do arquivo
b=cd('C:\ATP');
arquivo = 'NomeDoArquivo.atp';

% le o conteudo do arquivo
conteudo = fileread(arquivo);

% Define o caractere a ser buscado
AnguloIncidenciaSetado = '.045'; % Substitua pelo valor desejado

% Encontra TODAS as posicoes do caractere alvo
posicoes = strfind(conteudo, AnguloIncidenciaSetado);

if length(posicoes) < 7
    fprintf('Menos de tres ocorrencias de "%s" foram encontradas no arquivo.\n',
        AnguloIncidenciaSetado);
else
    % Converte a string completa para bytes assumindo codificacao UTF-8
    conteudo_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');

    %No codigo ATP, necessario que as chaves estejam em ordem de 01 a 07

    % Obtem os bytes de cada uma das 7 ocorrencias
    BytesIncidenciaC1 = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(1)-2), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC2 = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(2)-2), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC3 = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(3)-2), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC4 = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(4)-2), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC5 = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(5)-2), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC6 = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(6)-2), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC7 = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(7)-2), 'UTF-8'));
end

end

%se falta AB
fseek(fd2, BytesIncidenciaC1, 'bof'); %Chave C1
fwrite(fd2, x, 'char'); %modifica o angulo de 0.045 para valor definido em X
fseek(fd2, BytesIncidenciaC2, 'bof'); %Chave C2
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaC3, 'bof'); %Chave C3

```

```

fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaC4, 'bof'); %Chave C4
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaC5, 'bof'); %Chave C5
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaC6, 'bof'); %Chave C6
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaC7, 'bof'); %Chave C7
fwrite(fd2, x, 'char');

%TIPO DE FALTA
%D valor numerico da funcao fseek indica a quantidade de caracteres ate o
%valor a ser alterado
%Altera a parametrizacao

x = [57 46 57 57 57]; %corresponde ao valor 9.999, que fara a chave da falta abrir

definetip = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
            'false', 'false'};

for z=1:tipos
    if strcmp(tip{z}, tip{1})
        definetip(z) = {'true'};
    end
end

verifictipABC = {'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
                'false', 'false', 'false'};
verifictipAB = {'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
                'false', 'false'};
verifictipAC = {'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
                'false', 'false'};
verifictipBC = {'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
                'false', 'false'};

%Faltas com Terra

%fseek(fd2, (BytesTerra-1), 'bof'); %abre a chave da falta em B
%fwrite(fd2, x, 'char');

%Falta AB - Abre chaves C3, C4, C6, C7
%Falta BC - Abre chaves C1, C4, C5, C7
%Falta AC - Abre chaves C2, C5, C6, C7
%Falta ABC - Abre chaves C2, C5, C6, C7

% if isequal(definetip, verifictipAT)

```

```
    %Na definicao do tipo, a acao fseek/fwrite substitui o tempo de abertura da chave
    % para as fases
    % que nao queremos que operem para o tempo de 9.999 segundos
    % A funcao fseek posiciona o cursor de acordo com a quantidade de
    % caracteres anteriores (que e o valor numerico na funcao)

%% AT
%
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaB-2), 'bof'); %abre a chave da falta em B
% fwrite(fd2, x, 'char');
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaC-2), 'bof'); %abre a chave da falta em C
% fwrite(fd2, x, 'char');
%
%
% elseif isequal(definetip, verifictipBT)
%% BT
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaA-2), 'bof');
% fwrite(fd2, x, 'char'); %modifica o angulo para fase A
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaC-2), 'bof');
% fwrite(fd2, x, 'char'); %modifica o angulo para fase C
%
%
% elseif isequal(definetip, verifictipCT)
%% CT
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaA-2), 'bof');
% fwrite(fd2, x, 'char'); %modifica o angulo para fase A
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaB-2), 'bof'); %abre a chave da falta em B
% fwrite(fd2, x, 'char');
%
%
% elseif isequal(definetip, verifictipABT)
%% ABT
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaC-2), 'bof'); %abre a chave da falta em C
% fwrite(fd2, x, 'char');
%
%
% elseif isequal(definetip, verifictipACT)
%% ACT
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaB-2), 'bof'); %abre a chave da falta em B
% fwrite(fd2, x, 'char');
%
%
% elseif isequal(definetip, verifictipBCT)
%% BCT
% fseek(fd2, (BytesIncidenciaA-2), 'bof'); %abre a chave da falta em A
% fwrite(fd2, x, 'char');
%
```

```
%  
    % ABC  
    if isequal(definetip, verifictipABC)  
        %Falta ABC - Abre chaves C2, C5, C6, C7  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC2-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC5-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC6-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC7-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
  
    elseif isequal(definetip, verifictipAB)  
        %Falta AB - Abre chaves C3, C4, C6, C7  
  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC3-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC4-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC6-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC7-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
  
    elseif isequal(definetip, verifictipAC)  
  
        %Falta AC - Abre chaves C2, C5, C6, C7  
  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC2-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC5-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC6-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC7-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
  
    elseif isequal(definetip, verifictipBC)  
        % BC  
        %Falta BC - Abre chaves C1, C4, C5, C7  
  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC1-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC4-2), 'bof');  
        fwrite(fd2, x, 'char');  
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC5-2), 'bof');
```

```
        fwrite(fd2, x, 'char');
        fseek(fd2, (BytesIncidenciaC7-2), 'bof');
        fwrite(fd2, x, 'char');

end

x=[48 48 48]; %000

defineang = {'false', 'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em
    todos os casos

for z=1:angulos
    if strcmp(ang{z}, ang{j})
        defineang(z) = {'true'};
    end
end

%impedancia
% Aqui altera a parametrizacao da impedancia
x = [46 48 48 48 49];

defineimp = {'false', 'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em
    todos os casos

for z=1:impedancias
    if strcmp(imp{z}, imp{k})
        defineimp(z) = {'true'};
    end
end

%Calcular quantos bytes tem ate a posicao do das impedancias no
%codigo .atp

% Define o caminho do arquivo
b=cd('C:\ATP');
arquivo = 'NomeDoArquivo.atp';

% le o conteudo do arquivo
conteudo = fileread(arquivo);

% Define o caractere a ser buscado
ImpedanciaSetado = '888'; % Substitua pelo valor desejado

% Encontra TODAS as posicoes do caractere alvo
posicoes = strfind(conteudo, ImpedanciaSetado);

if length(posicoes) < 3
```

```

    fprintf('Menos de tres ocorrencias de "%s" foram encontradas no arquivo.\n',
            ImpedanciaSetado);
else
    % Converte a string completa para bytes assumindo codificacao UTF-8
    conteudo_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');

    % Obtem os bytes de cada uma das 7 ocorrencias
    BytesImpedanciaAB = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(1)-3), 'UTF-8'));
    BytesImpedanciaBC = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(2)-3), 'UTF-8'));
    BytesImpedanciaCA = length(unicode2native(conteudo(1:posicoes(3)-3), 'UTF-8'));

end

verificimp01 = {'true', 'false', 'false', 'false'};
verificimp50 = {'false', 'true', 'false', 'false'};
verificimp100 = {'false', 'false', 'true', 'false'};
verificimp500 = {'false', 'false', 'false', 'true'};

if isequal(defineimp, verificimp01)
    x = [48 48 49]; % codigo ascii para o numero, vai de 48 =0 ate 57 = 9. sao 3
                % valores porque o tempo tem 3 algarismos
                % imp = 001
elseif isequal(defineimp, verificimp50)
    x = [48 53 48]; % imp = 050
elseif isequal(defineimp, verificimp100)
    x = [49 48 48]; % imp = 100
elseif isequal(defineimp, verificimp500)
    x = [53 48 48]; % imp = 500
end

%quantidade de caracteres da impedancia da falta

fseek(fd2,BytesImpedanciaAB, 'bof');
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2,BytesImpedanciaBC, 'bof');
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2,BytesImpedanciaCA, 'bof');
fwrite(fd2, x, 'char');

%LOCAIS
% Aqui altera a parametrizacao do local
x = [46 48 48 48 49];

definoloc = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false'}; %seta a variavel para "false" em todos os casos

for z=1:locais

```

```
    if strcmp(loc{z}, loc{i})
        defineloc(z) = {'true'};
    end
end

verificlocA = {'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocB = {'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocC = {'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocD = {'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false', 'false',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocE = {'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false', 'false',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocF = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false', 'false',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocG = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true', 'false',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocH = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'true',
               'false', 'false', 'false'};
verificlocI = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
               , 'true', 'false', 'false'};
verificlocJ = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
               , 'false', 'true', 'false'};
verificlocK = {'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false', 'false',
               , 'false', 'false', 'true'};

if isequal(defineloc, verificlocA) % '8.05'
    x = [56 46 48 53];
elseif isequal(defineloc, verificlocB) % '48.3'
    x = [52 56 46 51];
elseif isequal(defineloc, verificlocC) % '80.5'
    x = [56 48 46 53];
elseif isequal(defineloc, verificlocD) % '0113'
    x = [48 49 49 51];
elseif isequal(defineloc, verificlocE) % '0145'
    x = [48 49 52 53];
elseif isequal(defineloc, verificlocF) % '0161'
    x = [48 49 54 49];
elseif isequal(defineloc, verificlocG) % '0163'
    x = [48 49 54 51];
elseif isequal(defineloc, verificlocH) % '0171'
    x = [48 49 55 49];
elseif isequal(defineloc, verificlocI) % '0177'
    x = [48 49 55 55];
elseif isequal(defineloc, verificlocJ) % '0183'
```

```
x = [48 49 56 51];
elseif isequal(defineloc, verificlock) % '0191'
    x = [48 49 57 48];
end

%Calcular quantos bytes tem ate a posicao do local da falta no codigo .atp

% Define o caminho do arquivo
b=cd('C:\ATP');
arquivo = 'NomeDoArquivo.atp';

% le o conteudo do arquivo
conteudo = fileread(arquivo);

% Define o caractere a ser buscado
LocalASetado = 'B8.05A'; % Substitua pelo valor desejado
LocalBSetado = 'B8.05B';
LocalCSetado = 'B8.05C';

% Encontra TODAS as posicoes do caractere alvo
posicaoLocalA = strfind(conteudo, LocalASetado);
posicaoLocalB = strfind(conteudo, LocalBSetado);
posicaoLocalC = strfind(conteudo, LocalCSetado);

% if length(posicoes) < 3
% fprintf('Menos de tres ocorrencias de "%s" foram encontradas no arquivo.\n',
    AnguloIncidenciaSetado);
% else
    % Converte a string completa para bytes assumindo codificacao UTF-8
    posicaoLocalA_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');
    posicaoLocalB_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');
    posicaoLocalC_bytes = unicode2native(conteudo, 'UTF-8');

    % Obtem os bytes ate a primeira, segunda e terceira ocorrencias
    BytesIncidenciaA = length(unicode2native(conteudo(1:(posicaoLocalA-2)), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaB = length(unicode2native(conteudo(1:(posicaoLocalB-2)), 'UTF-8'));
    BytesIncidenciaC = length(unicode2native(conteudo(1:(posicaoLocalC-2)), 'UTF-8'));

% Os valores numericos do fseek indicam as posicoes dos dados que precisam ser
    alterados.
%que sao as 3 fases do local do curto-circuito, onde a chave de curto se prende

fseek(fd2, BytesIncidenciaA, 'bof'); %faltaB
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaB, 'bof'); %faltaA
fwrite(fd2, x, 'char');
fseek(fd2, BytesIncidenciaC, 'bof'); %faltaC
```

```
fwrite(fd2, x, 'char');

fclose(fd1);
fclose(fd2);
    end
end
end
end

% Escreve comandos no arquivo .bat
% fileID = fopen('Registros\simular_arquivos_atp.bat', 'a');
% fprintf(fileID, '@if exist Models.1 del Models.1\r\n');
% %fprintf(fileID, '@if exist Graphics del Graphics\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.aux del *.aux\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.bin del *.bin\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.tmp del *.tmp\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.dbg del *.dbg\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.lis del *.lis\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.pch del *.pch\r\n');
% %fprintf(fileID, '@if exist *.atp del *.atp\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.bak del *.bak\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.pl4 del *.pl4\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.mdl del *.mdl\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.pl4 del *.pl4\r\n');
% fprintf(fileID, '@if exist *.atp del *.atp\r\n');
% fclose(fileID);
fclose(fd3);
```

CorujaT_EX



Este volume foi tipografado em L^AT_EX na classe CorujaT_EX como uma demanda do Colegiado do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) (https://github.com/ademariocarvalho/CCEE_UFOB_CorujaTEX).