DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ASSOCIAÇÃO ENTRE PADRÕES DE COMPORTAMENTO DE TENSÃO E DEFEITOS DE ALTA IMPEDÂNCIA DEVIDO RUPTURA DE CONDUTORES EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSOCIATING VOLTAGE BEHAVIOR PATTERNS AND HIGH IMPEDANCE FAULTS DUE TO CONDUCTOR BREAKAGE IN DISTRIBUTION NETWORKS

Bruno Raphael dos Santos Lima, Guilherme Lima de Souza, Leonardo Yuji Maeda, Matthew Rogner Bisan, Rodrigo Silva Barbosa de Sá, Alexandre Shozo Onuki

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica
E-mail para contato: matthew.bisan@gmail.com

RESUMO – O trabalho de pesquisa desenvolveu uma metodologia para detectar falhas de abertura de cabos utilizados na distribuição elétrica (falha de alta impedância) que resultam em diversas ocorrências de morte nas cidades. Através do monitoramento em tempo real dos medidores instalados nos consumidores de energia, tal técnica utilizou-se de um conjunto de algoritmos capaz de detectar tal problema através dos padrões de tensão de diversos consumidores de forma adaptativa e técnicas de avaliação através mudança de padrões de múltiplos valores, os testes demonstraram que o sistema é de fato assertivo e confiável no processo em questão.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Falha de alta impedância, distribuição elétrica, sistemas adaptativos

ABSTRACT – The research work developed a methodology to detect cable opening faults in electrical distribution (high impedance fault) that result in several fatal incidents in cities. Through real-time monitoring of meters installed in energy consumers. This technique used a set of algorithms capable of detecting such a problem through the voltage patterns of several consumers in an adaptive way and evaluation techniques through changing patterns of multiple values. The tests demonstrated that the system is in fact assertive and reliable in the process in question.

Keywords: Artificial Intelligence, High impedance fault, electrical distribution, adaptive systems

Tipo do trabalho: ( ) Iniciação científica (x) Iniciação tecnológica ( ) Extensão

1 INTRODUÇÃO

As Faltas ou Defeitos de Alta Impedância, embora sua ocorrência pouco frequente e de difícil detecção na rede elétrica, pode gerar mortes e problemas na rede. Este trabalho se propôs a desenvolver um algoritmo que associe padrões de comportamento de tensão a defeitos de ruptura de condutores. Acredita-se que essa abordagem contribuirá significativamente para o desenvolvimento futuro de projetos, sistemas e equipamentos voltados à detecção dessas ocorrências. O objetivo foi compreender as respostas do sistema as faltas geradas pela ruptura de condutores, buscando identificar padrões nos equipamentos de medição simulados, visando reduzir os casos de acidentes decorrentes da não detecção desses defeitos, para isso foi utilizando um *software* especializado para simular uma estrutura de circuito de rede.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para este trabalho inicia-se a partir de uma revisão bibliográfica, onde foram estudados os defeitos de alta impedância e as metodologias existentes para detecção e diagnóstico de falhas em sistemas elétricos, para tanto foram utilizadas as etapas:

- Desenvolvimento de uma plataforma computacional para simulação de condições operacionais e implementação de algoritmos para detecção de faltas.
- Criação de algoritmos para detecção de falhas de ruptura na rede, considerando as variações de tensão.
- Implementação dos algoritmos na plataforma computacional.
- Testes que abrangem uma variedade de cenários operacionais e condições adversas, analisando a capacidade dos algoritmos em diagnosticar e distinguir situações de faltas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho foram categorizados da seguinte forma:

3.1 Desenvolvimento da plataforma Computacional para testes do conjunto de algoritmos

A plataforma MATLAB foi utilizada como base computacional para o desenvolvimento do projeto permitindo simular com precisão uma rede elétrica de distribuição. A topologia final da rede representa de forma simples os consumidores e a origem do sistema, a partir de unidades geradoras que abastecem áreas metropolitanas.

3.2 Definição dos algoritmos para detecção da Ruptura dos condutores

Todo o desenvolvimento realizado para criação do conjunto de algoritmos e os testes de validação foi apresentado de forma resumida a seguir.

3.2.1 Metodologia básica para determinação ruptura de condutores

O principal objetivo do trabalho é realizar a detecção de ruptura dos condutores que compõem um sistema de distribuição de energia primária, através da detecção de mudanças no perfil da tensão em consumidores residenciais.

a) Definição dos padrões de Comportamento das Tensões em Condições Normais

Inicialmente, foram realizadas simulações computacionais para aprender sobre o sistema e determinar a faixa de oscilação de tensão em condições normais de operação. Em condições reais, essas informações poderiam ser obtidas em campo por medidores residenciais. Em seguida, foram seguidos passos para definir um padrão.

- **Valor Referência VR**

O sistema analisa o comportamento de tensão de cada residência com base em médias de valores subsequentes, atualizando esses valores conforme novas medições são realizadas. A quantidade de amostras é definida pelo usuário por meio do Número de Amostras (NA). Assim, foram adotadas técnicas dinâmicas e adaptativas para obter esses parâmetros.

- **Desvio de Tensão DT nos pontos de medição**

O valor do **Desvio de Tensão DT** tem por objetivo mensurar a diferença da medição e um **Valor Referência VR** calculado conforme citado anteriormente. Esta variável é obtida através da subtração do valor de uma determinada amostra em relação a referência calculada de forma dinâmica.

- **Faixa de Variação Típica FT do Desvio de Tensão DT em condições Normais**

Para caracterizar uma situação de normalidade (sem a existência de rompimento de cabos), é realizado um processo de aprendizado que consiste em verificar a faixa de variação do **DT** típica sem a ocorrência de falhas, este processo é realizado durante um **Período de Aprendizado PA**, que tal faixa é delimitada pelo Valores Máximo (**Vmax)** e Mínimo **(Vmin)**

e diferença entre os valores em questão foi denominada como Largura da Faixa **(LF)** e determinam o padrão da variação das tensões do sistema de distribuição.

b) Valor Normalizado do Desvio de Tensão DN

O **Valor Normalizado do Desvio de Tensão DN** (expresso em termos percentuais) é obtido dividindo os valores de **VR** por **LF**, tal índice serve para realizar comparações entre os diversos pontos de medição.

c) Classificação do Valor Normalizado do Desvio de Tensão DN

Para realizar o processo de comparação de padrões dos desvios, foi desenvolvido uma técnica que estratifica tais valores em faixas percentuais, para tanto foram criados os parâmetros denominados de Número de Faixas **(NF)** e a Faixa Total de Abrangência **(FA)**, em tal função será possível aferir o comportamento do desvio e possibilitar a caracterização de um certo desequilíbrio de tensão.

d) Definição dos padrões de Comportamento das Tensões Durante a Ruptura de Condutores

Para a identificação de ruptura de condutor na rede de distribuição de energia, inicialmente é realizado o processo de aprendizagem do sistema, onde é definido de forma semelhante ao padrão de comportamento de Operação Normal, em tal processo é determinada também a faixa do Desvio de Tensão **DN** típica para tal ocorrência.

e) Processo para Identificação de Ruptura Condutores por Similaridades com os Padrões de Falhas

Para a identificação da falha é realizada através da aferição da similaridade entre várias medições (diversos consumidores) e os padrões registrados inicialmente. O processo possuiu uma metodologia que realiza a aferição através de percentuais associados a quantidade de pontos com o mesmo padrão de falha.

f) Processo para Identificação de Ruptura Condutores sem a Similaridades com os Padrões de Falhas

Podem existir falhas com padrões de tensão diferentes ao registrados inicialmente, neste caso, o sistema verifica a existência de vários pontos com anormalidades e comunica ao usuário

o problema em questão. Caso for identificado uma falha real, o sistema incluirá o mesmo ao banco de dados com sua identificação.

3.3 Testes e Avaliação do conjunto de algoritmos

Com a simulação do sistema de distribuição parametrizado na plataforma MATLAB, foram realizados diversos testes para simular ruptura de condutores em diferentes trechos. Os valores obtidos foram exportados da plataforma e incorporados ao algoritmo, visando validar e identificar os padrões de comportamento associados a essas falhas.

3.1.1 Desenvolvimento do sistema elétrico de distribuição em ambiente computacional

Para os testes do conjunto de algoritmos foi desenvolvido um sistema de distribuição de energia, cujos parâmetros foram baseados em dados típicos, este é composto por fonte de 88 kV, que alimenta um transformador 88/13,8 kV de 20 MVA que alimentam circuitos primários e secundário que fornecem energia a 90 pontos de consumo divididos em três conjuntos de cargas, conforme ilustrado na figura 1.

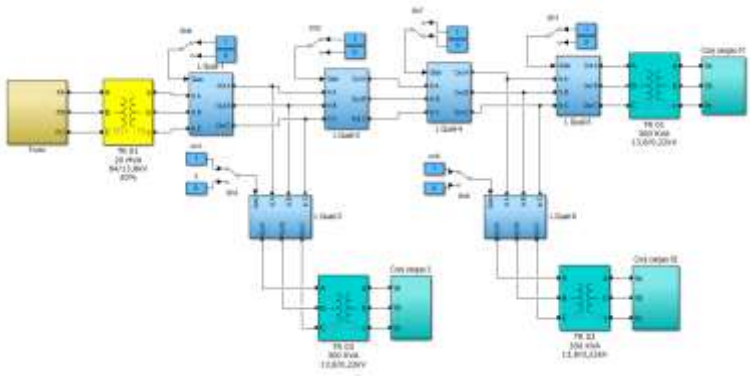

Figura 01 – Modelo implementado em programa de simulação

3.1.2 Definição do desvio de tensão em cada ponto de medição

Para definição do desvio de tensão, foi desenvolvido uma planilha onde é calculada de forma automática o valor da média dinâmica (calculado através da média de 10 amostras anteriores) e a partir deste foi determinado o desvio da tensão, vale citar que o parâmetro é obtido através da subtração o valor analisado e a média dinâmica, na tabela 01 é ilustrado um exemplo.

Tabela 01 – Determinação dos limites dos desvios de tensão nos pontos de medição

T (s)	Valor Analisado	Média Dinâmica	Desvio Calculado
0,02350	226,49	227,10	-0,61
0,02400	226,86	226,88	-0,02
0,02450	227,28	226,73	0,55
0,02500	227,69	226,66	1,03
0,02550	228,02	226,67	1,35
0,02600	228,24	226,77	1,47

3.1.3 Determinação dos padrões dos desvios de tensão

Inicialmente é necessário determinar a sensibilidade dos desvios de tensão medidos em cada ponto de consumo, vale destacar que, os valores foram obtidos com o sistema elétrico integro e com variação de carga típica de tal sistema. Na tabela 2 são ilustrados alguns destes valores, neste exemplo é possível verificar dois pontos de medição e os limites de cada ponto (valores em Volts).

Tabela 2 – Determinação dos limites dos desvios de tensão nos pontos de medição

Tempo	Medição 01			Medição 02			Medição 03		
0.99950	236.676	235.952	0.72348	237.765	236.929	0.83641	235.588	237.148	-1.5601
1.00000	237.094	235.913	1.18047	237.434	237.14	0.29405	235.5	236.976	-1.4763
	Linf	-13.029		Linf	-13.094		Linf	-13.065	
	Lsup	12.1138		Lsup	12.0761		Lsup	12.1647	

3.1.4 Identificação da intensidade dos desvios de tensão

Para caracterizar o desvio de tensão e atrelar ao tipo de falha específico, o programa classifica em 10 níveis (0 a 100% da redução de tensão), quantificando o grau de redução de tensão. Na tabela 03, é ilustrado um exemplo.

Tabela 3 – Determinação do Nível de desvio de tensão

BC 2	Média Dinâmica	Desvio Medição	Alerta Falha	Nível Desvio
215,83	229,61	-13,77	Falha	1
212,77	229,61	-16,83	Falha	1
201,26	229,61	-28,35	Falha	2
201,61	229,61	-28,00	Falha	2
201,98	229,61	-27,63	Falha	2
202,30	229,61	-27,31	Falha	2
202,53	229,61	-27,08	Falha	2

3.1.5 Identificação da Ponto de Falha no sistema de transmissão

O processo de identificação do ponto de ruptura do condutor é obtido utilizando uma técnica de semelhança de padrão de comportamento, ou seja, o rompimento de um determinado condutor é associado a diversos patamares de desvio de tensão encontrados nas medições da

rede, que por fim, associam-se ao conjunto da rede que tenha os traços de comportamento similar.

4 CONCLUSÃO

Com o presente estudo, o ambiente computacional desenvolvido permitiu simular as falhas de ruptura de condutores no modelo de rede de distribuição, e validar o algoritmo perante sua capacidade de distinguir condições de operação normal, falha, e direção do ponto de ruptura.

5 REFERÊNCIAS

A seguir foram apresentados os principais referência bibliográfica utilizadas no trabalho.

1. TAKENAKA, F. O. Avaliação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica na cobertura das edificações do Campus I CEFET – MG, interligado à rede elétrica. 2009. 118P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <www.core.ac.uk/download/pdf/30375405.pdf> Acesso em 08/01/24, 20:30min.
2. Lima, A.G.G.; Espectro Solar. Disponível em: < https://www.antonioguilherme.web.br.com/blog/geracao-de-energia-eletrica/energia-solar/espectro-solar/>. Acesso em: 16 mar. 2024.
3. GOMES, GUILHERME. Projeto de um Simulador Solar Automatizado para Testes de Células Fotovoltaicas, Disponível em: https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2019_1_11/2019_1_11_final.pdf. Acesso em: 08 jul.2024