

EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E SUAS TECNOLOGIAS 2

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves
(Organizador)

Educação Matemática e suas Tecnologias 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof^a Dr^a Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E24	Educação matemática e suas tecnologias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Educação Matemática e suas Tecnologias; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-348-4 DOI 10.22533/at.ed.484192405 1. Matemática – Estudo e ensino – Inovações tecnológicas. 2. Tecnologia educacional. I. Gonçalves, Felipe Antonio Machado Fagundes. II. Série. CDD 510.7
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Educação Matemática e suas tecnologias” é composta por quatro volumes, que vêm contribuir de maneira muito significativa para o Ensino da Matemática, nos mais variados níveis de Ensino. Sendo assim uma referência de grande relevância para a área da Educação Matemática. Permeados de tecnologia, os artigos que compõem estes volumes, apontam para o enriquecimento da Matemática como um todo, pois atinge de maneira muito eficaz, estudantes da área e professores que buscam conhecimento e aperfeiçoamento. Pois, no decorrer dos capítulos podemos observar a matemática aplicada a diversas situações, servindo com exemplo de práticas muito bem sucedidas para docentes da área. A relevância da disciplina de Matemática no Ensino Básico e Superior é inquestionável, pois oferece a todo cidadão a capacidade de analisar, interpretar e inferir na sua comunidade, utilizando-se da Matemática como ferramenta para a resolução de problemas do seu cotidiano. Sem dúvidas, professores e pesquisadores da Educação Matemática, encontrarão aqui uma gama de trabalhos concebidos no espaço escolar, vislumbrando possibilidades de ensino e aprendizagem para diversos conteúdos matemáticos. Que estes quatro volumes possam despertar no leitor a busca pelo conhecimento Matemático. E aos professores e pesquisadores da Educação Matemática, desejo que esta obra possa fomentar a busca por ações práticas para o Ensino e Aprendizagem de Matemática.

Felipe Antonio Machado Fagundes Gonçalves

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O ALGORITMO ESPECTRAL COMO ALTERNATIVA AO ALGORITMO K-MEANS EM CONJUNTO DE DADOS ARTIFICIAIS	
Luciano Garim Garcia Leonardo Ramos Emmendorfer	
DOI 10.22533/at.ed.4841924051	
CAPÍTULO 2	16
NOVAS RELAÇÕES NA MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO DA TRANSFORMADA NUMÉRICA DE PASCAL	
Arquimedes José De Araújo Paschoal Ricardo Menezes Campello De Souza Hélio Magalhães De Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.4841924052	
CAPÍTULO 3	24
ALGORITMOS RÁPIDOS PARA O CÁLCULO DA TRANSFORMADA NUMÉRICA DE PASCAL	
Arquimedes José De Araújo Paschoal Ricardo Menezes Campello De Souza	
DOI 10.22533/at.ed.4841924053	
CAPÍTULO 4	32
ANÁLISE DE CÁLCULO DIFERENCIAL USANDO O SOFTWARE GEOGEBRA	
Amanda Barretos Lima Garuth Brenda Anselmo Mendes Isabela Geraldo Reghin Rosângela Teixeira Guedes	
DOI 10.22533/at.ed.4841924054	
CAPÍTULO 5	46
DEFLEXÃO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SOLUÇÃO ANALÍTICA E NUMÉRICA VIA MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS	
Mariana Coelho Portilho Bernardi Adilandri Mércio Lobeiro Jeferson Rafael Bueno Thiago José Sepulveda da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4841924055	
CAPÍTULO 6	57
MODELO MATEMÁTICO PARA AUXILIAR O PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE MOTORES ELÉTRICOS	
Thalita Monteiro Obal Jonatas Santana Obal	
DOI 10.22533/at.ed.4841924056	

CAPÍTULO 7	64
PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO E SOLUÇÃO NUMÉRICA DO PROBLEMA DE FLUXO EM AQUÍFERO CONFINADO	
João Paulo Martins dos Santos Alessandro Firmiano de Jesus Edson Wendland	
DOI 10.22533/at.ed.4841924057	
CAPÍTULO 8	83
RESONANT ORBITAL DYNAMICS OF CBERS SATELLITES	
Jarbas Cordeiro Sampaio Rodolpho Vilhena de Moraes Sandro da Silva Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.4841924058	
CAPÍTULO 9	91
TESTES ADAPTATIVOS ENVOLVENDO O CONTEÚDO DE DERIVADAS: UM ESTUDO DE CASO COM ALUNOS DE ENGENHARIA CIVIL	
Patrícia Liane Grudzinski da Silva Claudia Lisete Oliveira Groenwald	
DOI 10.22533/at.ed.4841924059	
CAPÍTULO 10	104
LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO POR ANÁLISE DE SINAIS TRANSITÓRIOS DE TENSÃO	
Danilo Pinto Moreira de Souza Eliane da Silva Christo Aryfrance Rocha Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.48419240510	
CAPÍTULO 11	116
MODELAGEM DA PROPAGAÇÃO DE FUMAGINA CAUSADA POR MOSCA-BRANCA EM CULTURAS AGRÍCOLA	
Gustavo Henrique Petrolí Norberto Anibal Maidana	
DOI 10.22533/at.ed.48419240511	
CAPÍTULO 12	133
LOS SUBNIVELES DE DESARROLLO DEL ESQUEMA DE DERIVADA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EL NIVEL UNIVERSITARIO	
Claudio Fuentealba Edelmira Badillo Gloria Sánchez-Matamoros Andrea Cárcamo	
DOI 10.22533/at.ed.48419240512	
CAPÍTULO 13	143
OTIMIZAÇÃO BASEADA EM CONFIABILIDADE PARA A MINIMIZAÇÃO DE FUNÇÕES MATEMÁTICAS	
Márcio Aurélio da Silva Fran Sérgio Lobato Aldemir Ap Cavalini Jr Valder Steffen Jr	
DOI 10.22533/at.ed.48419240513	

CAPÍTULO 14	156
SEQUÊNCIAS: INTERVALARES E FUZZY	
Gino Gustavo Maqui Huamán	
Ulcilea Alves Severino Leal	
Geraldo Nunes Silva	
DOI 10.22533/at.ed.48419240514	
CAPÍTULO 15	164
VALIDAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS PARA O ESCOAMENTO DE GRÃOS DE SOJA	
Rodolfo França de Lima	
Vanessa Faoro	
Manuel Osório Binelo	
Dirceu Lima dos Santos	
Adriano Pilla Zeilmann	
DOI 10.22533/at.ed.48419240515	
CAPÍTULO 16	181
TAREAS DE GENERALIZACIÓN POR INDUCCIÓN PARA FORMAR EL CONCEPTO DE POTENCIA	
Landy Sosa Moguel	
Guadalupe Cabañas-Sánchez	
Eddie Aparicio Landa	
DOI 10.22533/at.ed.48419240516	
CAPÍTULO 17	192
SINCRONISMO EM UM NOVO MODELO METAPOPOPULACIONAL COM TAXA DE MIGRAÇÃO INDEPENDENTE DA DENSIDADE	
Francisco Helmuth Soares Dias	
Jacques Aveline Loureiro da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.48419240517	
CAPÍTULO 18	199
SIMULAÇÃO 3D DO FLUXO DE AR DE UM SISTEMA REAL DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS	
Vanessa Faoro	
Rodolfo França de Lima	
Aline Tampke Dombrowski	
Manuel Osório Binelo	
DOI 10.22533/at.ed.48419240518	
CAPÍTULO 19	207
CONTROLE ÓTIMO DO FLUXO DE ÁGUA EM UMA FÔRMA DE GELO	
Xie Jiayu	
João Luis Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.48419240519	
CAPÍTULO 20	213
CÓDIGOS CÍCLICOS DEFINIDOS POR ANULAMENTO	
Conrado Jensen Teixeira	
Osnel Broche Cristo	
DOI 10.22533/at.ed.48419240520	

CAPÍTULO 21	216
ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE DISPERSÃO DE UM CONTAMINANTE COM TRANSFORMAÇÕES INTEGRAIS E INFERÊNCIA BAYESIANA	
Bruno Carlos Lugão	
Diego Campos Knupp	
Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues	
Antônio José da Silva Neto	
DOI 10.22533/at.ed.48419240521	
CAPÍTULO 22	225
ANÁLISE WAVELET DE TACOGRAMAS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS	
Ronaldo Mendes Evaristo	
Kelly Cristiane Iarosz	
Silvio Luiz Thomaz de Souza	
Ricardo Luiz Viana	
Moacir Fernandes de Godoy	
Antonio Marcos Batista	
DOI 10.22533/at.ed.48419240522	
CAPÍTULO 23	235
CONSTRUÇÃO DE UM AEROMODELO DE MACARRÃO NO ENSINO DE MATEMÁTICA E FÍSICA	
Alissan Sarturato Firão	
Ernandes Rocha de Oliveira	
Zulind Luzmarina Freitas	
DOI 10.22533/at.ed.48419240523	
SOBRE O ORGANIZADOR	239

LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO POR ANÁLISE DE SINAIS TRANSITÓRIOS DE TENSÃO

Danilo Pinto Moreira de Souza

Universidade Federal de Juiz de Fora, Modelagem Computacional
Juiz de Fora - MG

Eliane da Silva Christo

Universidade Federal Fluminense, Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia
Volta Redonda - RJ

Aryfrance Rocha Almeida

Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia
Teresina - PI

RESUMO: O desenvolvimento e aperfeiçoamento de algoritmos que possibilitem a análise e diagnóstico de falhas em sistemas elétricos de potência tem importante impacto econômico tanto para as concessionárias de energia quanto para os consumidores, pois possibilita a continuidade e confiabilidade do setor elétrico. O transporte de energia elétrica é realizado por meio das linhas de transmissão que, por serem de longas distâncias e em grande quantidade, tornam os sistemas elétricos de potência mais susceptíveis à ocorrência de perturbações causadas, principalmente, por fenômenos naturais com destaque para as descargas atmosféricas. Ocorrências de curtos circuitos geram sinais de tensão que se propagam em forma de ondas em ambos

os sentidos da linha de transmissão e sofrem sucessivas reflexões e refrações entre o ponto de origem do curto circuito e os terminais da linha. Este estudo tem por objetivo localizar faltas em linhas de transmissão através da identificação de padrões nos sinais gerados por estas faltas conforme varia-se os pontos de ocorrência dos curtos circuitos nas linhas de transmissão. Este estudo está dividido em duas etapas: na primeira etapa, apresentada neste artigo, é utilizado Análise de Fourier a fim de desacoplar o sinal transitório de tensão da falta do característico sinal senoidal proveniente da linha de transmissão; na segunda etapa será realizada a modelagem matemática dos sinais de falta por meio de modelos Box & Jenkins sazonais, autorregressivos, diferenciados, com médias móveis.

PALAVRAS-CHAVE: séries temporais, séries de Fourier, Box & Jenkins

1 | INTRODUÇÃO

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais

avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (ANEEL, 2008).

No sistema elétrico, as falhas podem ocorrer nos diversos componentes, dentre os quais destacam-se as linhas de transmissão (LTs) como os elementos mais suscetíveis à falhas, especialmente se considerarmos suas dimensões físicas, quantidade, complexidade funcional e o ambiente em que se encontram, apresentando assim, maior dificuldade para manutenção e monitoramento (ALMEIDA et al., 2014). Dentre os principais causadores de falhas destacam-se principalmente descargas atmosféricas (VISACRO, 2005).

Com a importância de se ter um sistema elétrico onde a continuidade, conformidade, flexibilidade e manutenibilidade sejam observados e garantidos, vêm-se buscando o aperfeiçoamento e inovação de técnicas empregadas em equipamentos de proteção e supervisão do sistema, proporcionando também a expansão do setor elétrico mantendo a qualidade de operação do sistema (FORMIGA, 2012). O desenvolvimento e aperfeiçoamento de algoritmos que possibilitem a análise e diagnóstico de falhas em sistemas elétricos de potência tem importante impacto econômico tanto para as concessionárias de energia quanto para os consumidores. Sistemas inteligentes, autônomos e online vêm sendo desenvolvidos e aplicados de forma significativa para lidar com esse tipo de problema.

As tecnologias de ponta hoje disponíveis incluem processamento digital de sinais de oscilografia, bancos de dados, interface gráfica, localização de faltas, simulação dinâmica de equipamentos de proteção, sistemas inteligentes de análise automática de oscilogramas e redes de oscilografia. Este aparato tecnológico possibilita um diagnóstico rápido e preciso com a mínima intervenção humana (CEPEL, 2017).

A localização precisa de faltas auxilia o setor de operação do sistema elétrico diminuindo o tempo de ocorrência do distúrbio e contribuindo para continuidade do fornecimento de energia elétrica (COSTA; SOUZA; BRITO, 2012). O desenvolvimento de novos métodos de localização digital de faltas em linhas de transmissão utilizando dispositivos baseados em microprocessadores é questão de interesse de pesquisadores e engenheiros de potência. Nos últimos anos, com um número muito grande de propostas tanto para novos métodos quanto para aperfeiçoamento de técnicas localização de faltas já existentes, visando melhorar a precisão das localizações de faltas em linhas de transmissão (ALMEIDA, 2007). Todavia, a grande maioria dos estudos voltados para localização de faltas em LTs se baseia na análise de componentes principais, na análise de transitórios, com a teoria das ondas viajantes, no uso de redes neurais artificiais, ou na junção de alguns destes métodos.

A aplicação de modelos de séries temporais (ST) com a finalidade de extrair informações de distâncias de faltas é um campo ainda pouco explorado. Atualmente esses modelos de ST são utilizados no estudo de demanda em energia elétrica. Aplica-se também modelos de STs no estudo de uso de redes de computadores, tanto para a análise de preferência de certo assunto por determinado grupo de pessoas,

quanto para a proteção de um servidor de Internet buscando determinar se uma ação na rede parte de um usuário ou de vírus de computador instalado nessa rede. Em (SILVA, 2015) mostra-se em seu a aplicabilidade das STs na análise de fluxo de rede de computadores. Visto a enorme semelhança entre o comportamento dos dados de fluxo de rede e o comportamento dos dados tratados no presente trabalho, iniciou-se a tentativa de utilizar modelos de STs na abordagem desse problema.

O objetivo deste trabalho é propor um método que possibilite a localização de faltas em linhas de transmissão aéreas. O método proposto é baseado na análise de séries temporais. O método consiste em verificar e analisar tendências e periodicidades presentes nos sinais de tensão analisados e com isso obter modelos Box & Jenkins, onde os coeficientes destes modelos gerados sejam proporcionais aos fatores causadores da falta analisada. Um destes fatores é a localização da falta na LT.

2 | SINAIS TRANSITÓRIOS DE TENSÃO

No percurso entre a fonte geradora e centros de consumo, as linhas de transmissão estão sujeitas a perturbações e anomalias de funcionamento. Descargas atmosféricas, surtos de tensão, vandalismo e incêndios são algumas das ameaças às quais um sistema de transmissão está sujeito. E buscando prever a ocorrência destas anomalias, meios de proteção são implementados no início e ao longo da rede. Estes dispositivos atuam de modo a evitar as falhas elétricas e limitar os defeitos caso falhas ocorram. Características como sensibilidade, seletividade, velocidade, confiabilidade e precisão necessitam ser dimensionadas para atender as necessidades do sistema, não as exceder demasiadamente, evitando assim tornar inviável a instalação de proteções em linhas de transmissão.

Ao se analisar a proteção de sistemas elétricos é necessário distinguir situações de operação do sistema. Em situações de operação normal tem-se a ausência de falhas nos equipamentos de operação ou falhas aleatórias. Já em uma situação de anormalidade ocorrem distúrbios na rede elétrica, tais como oscilações nos níveis de tensão, mas com corrente não atingindo níveis de curto-circuito. E em situações de curto-circuito pode ocorrer danos irreversíveis a todo o sistema (geração, transmissão e distribuição).

Conforme mencionado, são diversos os fenômenos que podem vir a ocorrer nos sistemas elétricos. Estes fenômenos podem ser agrupados conforme a velocidade de suas ocorrências. Sinais transitórios ultrarrápidos, surtos, podem por exemplo ser causados por uma descarga atmosférica ou pelo chaveamento da rede. Sua natureza é totalmente elétrica, sendo causados pela reflexão e refração de ondas eletromagnéticas entre os terminais do trecho da linha onde ocorreu o fenômeno. Tem uma curta duração de apenas alguns milésimos de segundos. Já transitórios meio rápidos, curto circuitos, têm origem em mudanças estruturais bruscas. Se devem ao contato indevido entre as partes energizadas que constituem as fases (F) e o referencial terra (T). Para o

sistema composto por três fases as possibilidades de falhas são mostradas na Figura 1 a seguir:

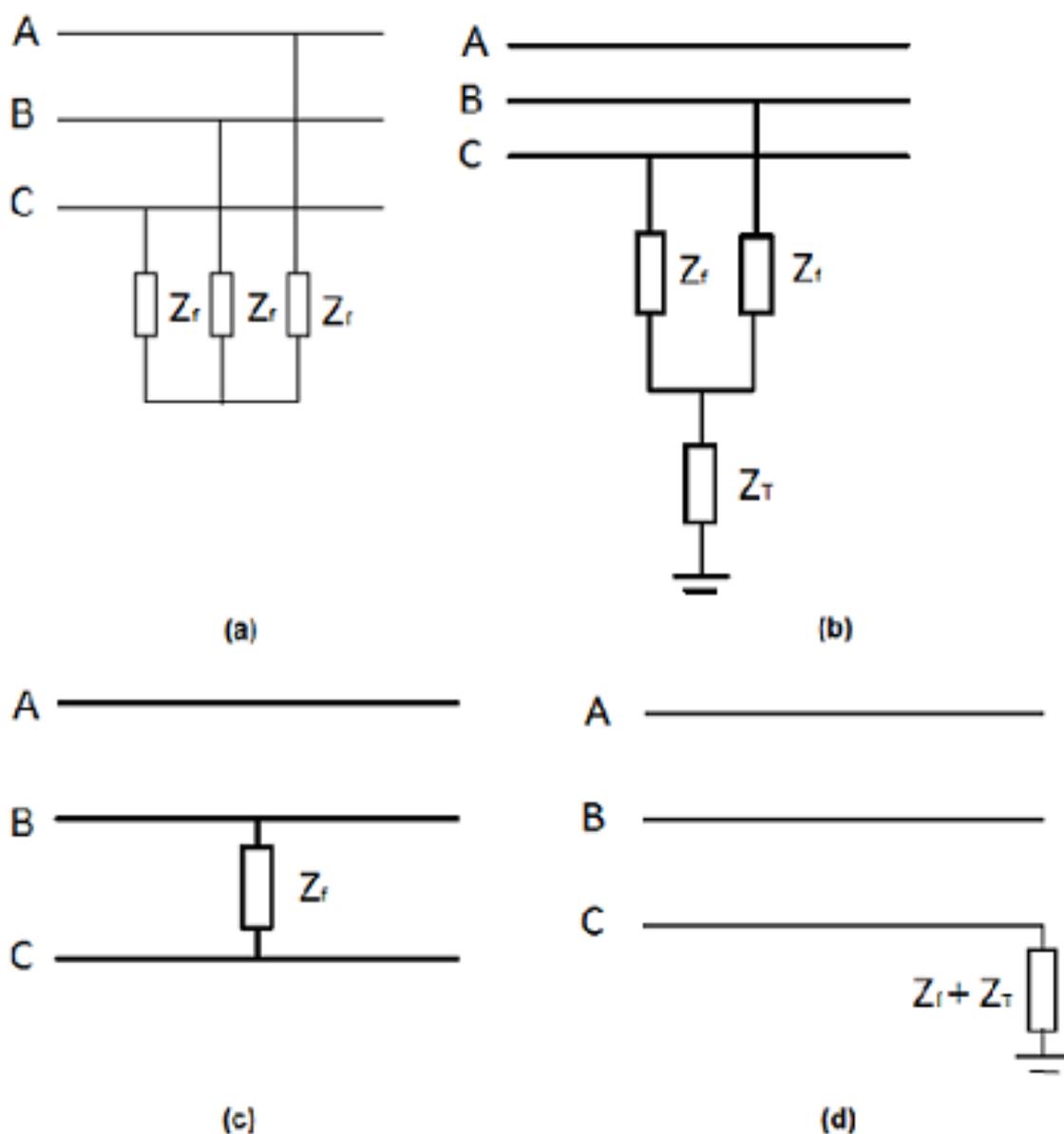


Figura 1: Tipos de faltas em um LT trifásica: (a) falta trifásica; (b) falta bifásica aterrada; (c) falta bifásica; (d) falta monofásica. Onde: Z_f - impedância de falta e Z_T - impedância de terra. Fonte: Adaptado de (SOUZA; CHRISTO; ALMEIDA, 2017b).

Os sinais transitórios de tensão em uma linha de transmissão são orientados segundo a Teoria das Ondas Viajantes. Nesta teoria, a mudança abrupta do nível de tensão em uma linha de transmissão se propaga por esta linha desde o ponto de origem da perturbação até as extremidades da linha, em ambos os sentidos. Ao encontrar uma descontinuidade no “percurso” estas ondas se dividem em ondas refletidas. Este processo de reflexão ocorre diversas vezes, até a total absorção da energia de onda pelos componentes da linha, atingindo o regime estacionário novamente. Em situações de faltas onde ocorra o contato entre pelo menos uma das fases e o terra (Figura 1(b) e Figura 1(d)) ocorrem ainda refrações no ponto de origem da falta (SOUZA, 2017).

A Figura 2 a seguir mostra este processo de propagação dos sinais transitórios na LT. Para isso, é utilizado o chama diagrama de Lattice.

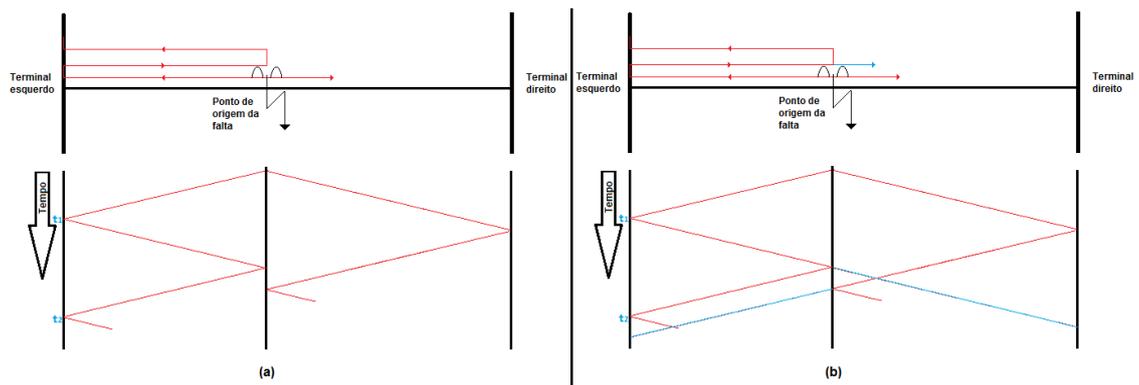


Figura 2: Diagrama de Lattice para propagação dos sinais transitórios. (a) faltas sem o componente terra; (b) faltas com o componente terra. Em vermelho os sinais refletidos e em azul os sinais refratados. Onde: t_1 e t_2 são os tempos de chegada das primeira e segunda frentes de onda, respectivamente, no terminal esquerdo da LT. Fonte: Adaptado de (SOUZA et al., 2018).

3 | MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS

Considere um processo estocástico estritamente estacionário, com N observações $(x_{t_1}; x_{t_2}; x_{t_3} \dots x_{t_N})$ associadas aos tempos $(t_1; t_2; t_3 \dots t_N)$. Tal processo trata-se de uma série temporal, uma vez que trata-se de um conjunto de observações ordenadas no tempo, onde cada valor tem a si atrelado um indicador do tempo onde esse valor ocorreu ou foi observado (VALINS, 2005).

Uma série temporal é construída quando se tem o interesse de: investigar o mecanismo gerador da série temporal; fazer previsões de valores futuros da série; descrever apenas o comportamento da série; procurar periodicidades relevantes nos dados. E por sua vez, um modelo é uma descrição probabilística de uma série temporal (MORETTIN; TOLOI, 2006).

3.1 Modelos Box & Jenkins

Dentre os diversos modelos de séries temporais existem os modelos da família Box & Jenkins descritos por Box e Jenkins na década de 1970 (BOX; JENKINS; REINSEL, 2008). Dentre estes, um bastante comum e útil é o modelo autorregressivo (AR). Neste modelo, uma determinada observação é dada pelo somatório de observações anteriores com diferentes pesos. A Equação 1 mostra um processo autorregressivo AR (p) de ordem p :

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + a_t \quad (1)$$

Onde: $\phi_i (i \leq p)$ denota os parâmetros do processo auto regressivo e a_t um ruído branco.

Através do operador de retrocesso $B^m X_t = X_{t-m}$ ($m \leq p$) dado por:

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (2)$$

A Equação 2 pode ser reescrita como mostrado na Equação 3:

$$\phi(B) X_t = a_t \quad (3)$$

Outro modelo que tem grande importância em observações de séries temporais são os modelos de médias móveis, onde X_t é linearmente dependente de um número finito q dos valores de a_t . Ao invés de tomar a observação mais recente como a previsão da próxima observação, toma-se uma média das últimas observações para filtrar o ruído e estimar com mais precisão a média local. A Equação 4 representa um modelo de médias móveis MA(q):

$$X_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (4)$$

Onde: θ_j ($j \leq q$) denota os parâmetros do processo de médias móveis, e a_t é o erro entre o valor real e o valor previsto pela média móveis.

$$a_i = \sum_{j=i}^{M+i-1} \frac{X_j}{M} - X_{M+i} \quad (5)$$

$i = (1, 2, 3, \dots, q), M = N - q$

Onde: q é o número de coeficientes de médias móveis utilizados, N é o tamanho da série temporal X , M é o número de termos da ST utilizado nas médias móveis.

De forma similar aos modelos AR, os modelos MA também podem ser expressos por meio do operador de retrocesso. Com isso tem-se:

$$X_t = \theta(B) a_t \quad (6)$$

A união do modelo autorregressivo de ordem p com o modelo de médias móveis às vezes pode beneficiar a montagem das séries temporais. Isso leva ao modelo autorregressivo de médias móveis ARMA (p, q), já representado em termos do operador de retrocesso é mostrado na Equação 7 a seguir.

$$\phi(B) X_t = \theta(B) a_t \quad (7)$$

Muitas das vezes pode ser necessário realizar diferenciações na série antes de se buscar um modelo adequado. A Equação 8 traz o operador de diferenças utilizado:

$$\begin{aligned}\nabla X_t &= X_t - X_{t-1} \\ \nabla^d X_t &= X_t - X_{t-d} = (1 - B)^d X_t\end{aligned}\tag{8}$$

Com a realização de d diferenciações em uma série, um modelo ARMA (p,q) por exemplo, pode ser representado por ARIMA (p,d,q) . A inserção do número de diferenciações no modelo faz com que a representação seja dada por:

$$\phi(B) \nabla^d X_t = \theta(B) a_t\tag{9}$$

Por fim, um último modelo Box & Jenkins a ser aqui apresentado é o modelo sazonal. Para este modelo considera-se a existência de sazonalidade na ST. Para um processo ARIMA sazonal tem-se SARIMA com sazonalidade S , um polinômio AR sazonal $\Phi(B^S)$ de ordem P , um polinômio sazonal $\theta(B^S)$ de ordem Q e um operador de diferenças sazonais de ordem D .

$$\nabla_S^D X_t = (1 - B)^D a_t\tag{10}$$

Um modelo SARIMA $(p,d,q) (P,d,Q)_s$ é então dado por:

$$\Phi(B^S) \phi(B) \nabla^d \nabla_S^D X_t = \theta(B^S) \theta(B) a_t\tag{11}$$

3.2 Decomposição de séries temporais

Um modelo de decomposição consiste em escrever X_t como a soma de três componentes não observáveis, para modelos aditivos e o produto de três componentes não observáveis, para modelos multiplicativos, respectivamente mostrada na Equação 12 (MORETTIN; TOLOI, 2006):

$$X_t = T_t + S_t + a_t\tag{12}$$

$$X_t = T_t S_t a_t$$

Onde: T_t e S_t representam as partes tendenciosas e sazonais, respectivamente, e $a_t \approx N(0, \sigma^2)$ um ruído branco.

O principal interesse ao se considerar a série temporal sendo da forma conforme mostrada na Equação 12 é calcular estimativas dos valores de T_t e construir a série livre de sazonalidade.

Para a eliminação da componente tendenciosa é utilizada neste trabalho a análise de Fourier, que consiste em aproximar uma função do tempo por uma combinação linear de harmônicos (componentes senoidais), os coeficientes dos quais são as transformadas de Fourier discreta da série (MORETTIN; TOLOI, 2006).

$$T_t \approx \frac{2}{N} \left(\sum_{t=1}^N \frac{V_t}{2} + \cos \omega t \sum_{t=1}^N V_t \cos \omega t + \sin \omega t \sum_{t=1}^N V_t \sin \omega t \right)$$

$$\omega = 2\pi f \neq \pi, i = (1, 2, \dots, N)$$

Onde f é a frequência fundamental da LT.

Para a determinação da componente sazonal, é utilizada a análise da função de autocorrelação sucessiva ($fac^{(n)}$), que consiste no cálculo sucessivo da fac funcionando como um filtro eliminando componentes não correlacionadas (SHIMAMURA; NGUYEN, 2010):

3.3 Formas de identificação de modelos

O objetivo da identificação consiste em determinar os coeficientes do modelo além de estimativas preliminares dos parâmetros a serem usadas no estágio de estimação. São diversos os métodos que visam identificar qual modelo é o mais indicado para determinada ST. O mais comum talvez seja a análise da função de autocorrelação (fac) juntamente com a da função de autocorrelação parcial ($facp$). Contudo, este método de identificação é bastante subjetivo pois depende de análises gráficas onde diferentes modelos podem ser obtidos.

Um método bastante eficaz e simples é a análise do critério de informação de Akaike (AIC) proposto por Akaike em 1974 (AKAIKE, 1974). Para a verificação de um modelo, por exemplo, o critério de informação de Akaike é mostrado na Equação 14.

$$AIC(k, d, l) = N \ln \hat{\sigma}_\alpha^2 + \frac{N}{N-d} + 2(k+l+1 + \delta_{d0}) + N \ln 2\pi + N$$

$$0 \leq k \leq K, 0 \leq l \leq L$$

$$K \text{ e } L = f(N), K = L = \ln N$$

(14)

Onde: $\hat{\sigma}_\alpha^2$ é o estimador de máxima verossimilhança da variância, σ_α^2 , N é o número de observações da série e δ_{d0} é delta de Kronecker.

Para a determinação dos coeficientes dos modelos escolhidos pelo AIC, normalmente usa-se o erro percentual médio absoluto (MAPE) calculado conforme Equação 15.

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{V_{iR} - V_{iC}}{V_{iR}} \right|}{N} \times 100$$

(15)

Onde: V_{ir} é o valor real, V_{ic} é o valor calculado e N é o tamanho da ST.

4 | SIMULAÇÃO DE FALTAS

Para a criação de um banco de dados de faltas onde seja relacionado distância de falta com coeficientes de modelos Box & Jenkins, é utilizado o software livre

ATPDraw®. Nesta ferramenta computacional é possível gerar diferentes situações de faltas mediante alterações dos parâmetro de faltas: número de elementos envolvidos (fases F_A , F_B , e F_C e terra T); frequência de amostragem dos dados; localização da falta na LT; resistência da falta; ângulo de incidência da falta na senóide característica da LT (SOUZA; CHRISTO; ALMEIDA, 2017b).

5 | RESULTADOS

O método de localização de faltas aqui proposto, descrito na Figura 3, consiste em monitorar de forma contínua e online os dados de tensão das três fases da LT analisada. Em uma primeira etapa é feita a busca por quedas bruscas dos níveis de tensão, o que caracteriza uma anormalidade no funcionamento da LT. Para realizar esta busca é utilizada a análise de Fourier destes sinais, onde o efeito da senóide característica da LT é eliminada, restando apenas dados de tensão relacionados ao distúrbio.

Detectada a presença de distúrbios é então feito a geração de um modelo SARIMA ótimo, seguindo o AIC como critério. Os coeficientes deste modelo obtido são então comparados a um banco de dados já existente e criado a partir de dados simulados de faltas onde se tem o pré conhecimento dos parâmetros geradores da falta. Ou seja, com a informação dos valores dos coeficientes é possível recorrer ao banco de dados onde já se conhece qual distância de falta está relacionada àqueles coeficientes do modelo SARIMA obtido.

O fluxograma e um exemplo gráfico de sua aplicação são mostrados na Figura 3 a seguir.

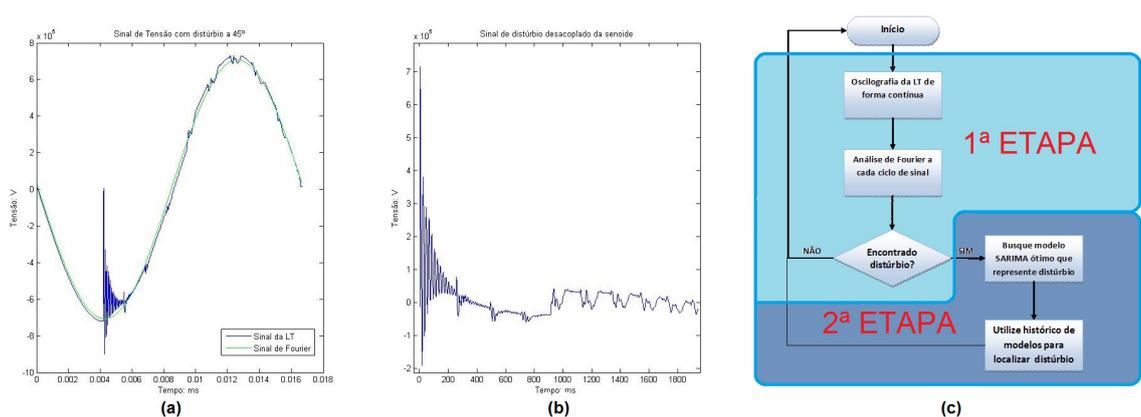


Figura 3: (a) Sinal de tensão com distúrbio. (b) Sinal de distúrbio desacoplado. (c) Fluxograma do Trabalho. Fonte: Adaptado de (SOUZA; CHRISTO; ALMEIDA, 2017a).

Como mencionado, o objetivo deste trabalho é relacionar as distâncias de ocorrências de falhas com as curvas dos modelos SARIMA. A Tabela 1 mostra alguns resultados obtidos, mostrando a relação distância-coeficiente. Todos os casos são faltas bifásicas com um ângulo de incidência de 90.

Pode ser visto na Tabela 1 que os coeficientes dos modelos SARIMA obtidos são iguais para as mesmas distâncias de falta. Por exemplo, para faltas que ocorrem a 10 km, os modelos obtidos são SARIMA (2,0,2) (2,0,4)₁₉ onde $\phi_1 = 1,2830$, $\phi_2 = -0,3496$, $\theta_1 = -0,3440$, $\theta_2 = 0,0283$, $\Phi_1 =$, $\Phi_2 =$, $\theta_1 = -1,3330$, $\theta_2 = -0,7397$, $\theta_3 = 0,0437$ e $\theta_4 = 0,0730$ em todas as falhas cujo ângulo de incidência é 90°, independentemente dos valores de resistência de falta.

Distância	10		45		84		155	
	20	240	20	240	20	240	20	240
ϕ_1	1,2830		1,5420		1,5888		1,4780	
ϕ_2	-0,3496		-0,5945		-0,6358		-0,5263	
ϕ_3	0,0000		0,0000		0,0000		0,0000	
θ_1	-0,3440		-0,1750		-0,3322		-0,6510	
θ_2	0,0283		0,0000		0,0000		0,0000	
θ_1	-1,4600		0,0000		0,0000		0,0000	
θ_2	-0,9181		0,0000		0,0000		0,0000	
θ_1	-1,3330		0,0000		0,0000		0,0000	
θ_2	-0,7397		0,0000		0,0000		0,0000	
θ_3	0,0437		0,0000		0,0000		0,0000	
θ_4	0,0730		0,0000		0,0000		0,0000	
Constante	17,9800		14,4800		10,6400		14,6500	
AIC	15369,26		13025,38		17984,45		4889,99	

Tabela 1: Alguns exemplos de modelos obtidos.

6 | CONCLUSÕES

O método proposto é eficaz na detecção de alterações de dados simulados de diferentes localizações de falhas na linha. No entanto, também é sensível a variações nos ângulos de incidência do aparecimento de perturbações nos sinais AC de onda senoidal. Isto é particularmente verdadeiro quando a distância da falta se torna maior em relação ao início da linha de transmissão. Com melhorias no algoritmo, é possível, além de identificar o posicionamento de curtos-circuitos na linha, também identificar o ângulo do referido ângulo de incidência, a fim de melhorar a sensibilidade dos relés utilizados para este tipo de monitoramento.

O algoritmo é insensível a mudanças no valor da resistência a falhas. Este é, de fato, um fator importante para a metodologia adotada, uma vez que a resistência a falhas é altamente aleatória e variável, dependendo das condições ambientais e

do tipo e localização da falha. A resistência à falta influencia o comportamento do amortecimento do sinal transiente (variações verticais no plano cartesiano do sinal), mas a localização da fonte da perturbação está relacionada com a frequência de oscilação do sinal (variações horizontais no plano cartesiano do sinal).

Outro fator importante refere-se ao tipo de falha em relação ao número de elementos envolvidos, que são monofásicos, bifásicos ou trifásicos. Dados de falha envolvendo o componente terra apresentam maior volatilidade, uma vez que esses tipos de ondas transientes, além de sofrerem sucessivas reações entre o ponto de origem e os terminais da linha, também sofrem refrações. Alguns dos sinais refletidos nos terminais excedem o ponto de origem da perturbação no terminal oposto, fazendo com que os dados fiquem entrelaçados. Para trabalhos futuros, sugerimos avaliar modelos mais robustos para o pré-processamento dos dados. Uma alternativa possível para eliminar os dados provenientes do terminal oposto seria o uso de transformada discreta de Wavelet.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. **A new look at the statistical model identification**. IEEE transactions on automatic control, IEEE, v. 19, n. 6, p. 716723, 1974.

ALMEIDA, A. R. **Localização de Falhas em Sistemas de Transmissão de Alta Tensão usando ICA**. 2007.

ALMEIDA, A. R. et al. **Localização de faltas em sistemas de transmissão de alta tensão a partir de registros oscilográficos usando análise de componentes independentes**. Anais do V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2014.

ANEEL. **Agência nacional de energia elétrica**. Brasília: Aneel, 2008.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time Series Analysis**. [S.l.: s.n.], 2008.

CEPEL **Análise de Perturbações em Sistemas Elétricos**. 2017. Disponível em: <http://www.cepel.br/linhas-de-pesquisa/menu/analise-de-perturbacoes-em-sistemas-eletricos.htm>. Acesso em: 30 jun. 2017.

COSTA, F. B.; SOUZA, B. A.; BRITO, N. S. D. **A wavelet-based method for detection and classification of single and crosscountry faults in transmission lines**. In: International Conference on Power Systems Transients. [S.l.: s.n.], 2009.

FORMIGA, D. A. **Estimação de Fasores para Proteção de Sistemas Elétricos Baseada em Mínimos Quadrados e Morfologia Matemática**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. **Análise de séries temporais**. [S.l.]: Blucher, 2006.

SHIMAMURA, T.; NGUYEN, N. D. **Autocorrelation and double autocorrelation based spectral representations for a noisy word recognition system**. In: Eleventh Annual Conference of the International Speech Communication Association. [S.l.: s.n.], 2010.

SOUZA, D. P. M. de; CHRISTO, E. da S.; ALMEIDA, A. R. **Localização de Falhas em Linhas de Transmissão por Análise de Transitórios**. In: SBMAC. In: XXXVII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC). Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics. São José dos Campos. [S.I.], 2017. v. 1, p. 250-254.

SOUZA, D. P. M. de; CHRISTO, E. da S.; ALMEIDA, A. R. **Location of faults in power transmission lines using the ARIMA method**. Energies, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 10, p. 1596, 2017.

SOUZA, D. P. M. de et al. **Fault location in power transmission lines using autocorrelation function**. (IJAERS, International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v. 5, n. 5, p. 296304, 2018.

SILVA, V. L. P. da. **Identificação de Anomalias em Fluxos de Rede utilizando Previsões em Séries Temporais pelo Método Holt-Winters**. 2015.

VALINS, T. F. **Relé Digital de Distância Baseado na Teoria de Ondas Viajantes e Transformada de Wavelet**. 2005.

VISACRO, S. **Descargas Atmosféricas: Uma abordagem de Engenharia**. 1ª ed. [S.I.]: Prentice Hall, 2005.

SOBRE O ORGANIZADOR

FELIPE ANTONIO MACHADO FAGUNDES GONÇALVES Mestre em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná(UTFPR) em 2018. Licenciado em Matemática pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em 2015 e especialista em Metodologia para o Ensino de Matemática pela Faculdade Educacional da Lapa (FAEL) em 2018. Atua como professor no Ensino Básico e Superior. Trabalha com temáticas relacionadas ao Ensino desenvolvendo pesquisas nas áreas da Matemática, Estatística e Interdisciplinaridade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-348-4

