

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
(Organizadores)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0400-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.002221708>

1. Engenharia elétrica. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro electricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Também se trata de uma área de conhecimento com uma grande amplitude de subáreas e especializações, algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

APLICAÇÃO DO NÍOBIO NAS BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO

Claudinei Guilherme Hoffmann

Luciana Paro Scarin Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217081>

CAPÍTULO 2..... 14

FORECAST METHOD FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES: A CASE STUDY OF THE ONTARIO'S ELECTRICAL SYSTEM

Bruno Knevitz Hammerschmitt

Felipe Cirolini Lucchese


Marcelo Bruno Capeletti

Renato Grethe Negri

Leonardo Nogueira Fontoura da Silva

Fernando Guilherme Kaehler Guarda

Alzenira da Rosa Abaide


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217082>

CAPÍTULO 3..... 28

IDENTIFICADOR DE FALHAS PARA MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO BASEADO EM SUPPORT VECTOR MACHINE IMPLEMENTADO EM CLOUD

Jacyeude de Moraes Passos Araujo Segundo

Carlos Vinicius Alves Coimbra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217083>

CAPÍTULO 4..... 41

DETECÇÃO DE AVARIAS EM ISOLADORES DE POTÊNCIA: UMA PESQUISA DA LITERATURA CORRELATA À UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INTELIGENTES

Ivan Nunes da Silva

Beatriz de Lima Tavares


Sofia Moreira de Andrade Lopes

Danilo Hernane Spatti

Rogério Andrade Flauzino

Victor Hideki Yoshizumi

Ana Cláudia Carvalho Barquete


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217084>

CAPÍTULO 5..... 56

LEITURA DE PARÂMENTOS DE MOVIMENTO DE UM PÊNDULO RÍGIDO CONTÍNUO UTILIZANDO SENSOR DE EFEITO HALL

Getúlio Teruo Tateoki

Jackson Tsukada

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217085>

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 6 | 65 |
| PANELES FOTOVOLTAICOS ADICIONALES A COLECTORES PARABÓLICOS PARA UN SISTEMA AUTÓNOMO DE AIRE ACONDICIONADO SOLAR EN ZONAS TROPICALES | |
| Rosenberg J Romero | |
| Yuridiana Rocio Galindo Luna | |
| Jesús Cerezo Román | |
| Moisés Montiel González | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217086 | |
| CAPÍTULO 7 | 94 |
| UM MODELO HÍBRIDO DE BUSCA HARMÔNICA E OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS APLICADO NO PROJETO DO CONTROLADOR LQR | |
| Luis B. P. Nascimento | |
| Vandilberto P. Pinto | |
| Márcio A. B. Amora | |
| Rômulo N. C. Almeida | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217087 | |
| CAPÍTULO 8 | 108 |
| MODELAGEM, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE MOVIMENTO DO ROBÔ MANIPULADOR SCARA T3 401SS FABRICANTE EPSON | |
| Bruno Suracci de Lima | |
| Flávio Luiz Rossini | |
| João Henrique Dias Corrêa | |
| João Marcos Pericaró Lopes | |
| Reginaldo Ferreira de Sousa Barbosa | |
| Yuri Ruzzene Barroso | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217088 | |
| CAPÍTULO 9 | 126 |
| SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA SOB A FORMA DE HIDROGÊNIO (SAEEH ₂) INSTALADO NA UHE ENG. SÉRGIO MOTA UTILIZANDO O SOFTWARE HOMER | |
| Juarez Corrêa Furtado Júnior | |
| Ennio Peres da Silva | |
| Vitor Feitosa Riedel | |
| Ana Beatriz Barros Souza | |
| Hélio Nunes de Souza Filho | |
| Demóstenes Barbosa da Silva | |
| Diogo Hernandez de Oliveira Barbosa | |
| Thiago Dias Alencar Ferreira | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217089 | |
| SOBRE OS ORGANIZADORES | 138 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 139 |

DETECÇÃO DE AVARIAS EM ISOLADORES DE POTÊNCIA: UMA PESQUISA DA LITERATURA CORRELATA À UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INTELIGENTES

Data de aceite: 01/08/2022

Data de submissão: 24/06/2022

Ivan Nunes da Silva

Universidade de São Paulo (USP/EESC/SEL)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/0448891472280429>

Beatriz de Lima Tavares

ARGO Energia
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/4506838174117920>

Sofia Moreira de Andrade Lopes

Universidade de São Paulo (USP/EESC/SEL)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/1277390036356439>

Daniilo Hernane Spatti

Universidade de São Paulo (USP/EESC/SEL)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/7371885828178292>

Rogério Andrade Flauzino

Universidade de São Paulo (USP/EESC/SEL)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/4487681434814567>

Victor Hideki Yoshizumi

Universidade de São Paulo (USP/EESC/SEL)
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/8378904835843389>

Ana Cláudia Carvalho Barquete

ARGO Energia
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/0533920838682298>

RESUMO: A investigação da detecção de avarias em isoladores de potência tem se voltado para as variáveis chaves envolvidas no processo de envelhecimento destes dispositivos. Sobretudo em ambientes com poluição severa, a degradação dos isoladores de maneira prematura traz riscos à operação do sistema, bem como prejuízos às concessionárias, as quais perdem receitas com desligamentos não programados ou manutenções executadas antes do período estabelecido pelos fabricantes. Muitas técnicas têm sido propostas em literatura e assinalam os sistemas inteligentes como uma das ferramentas mais promissoras para se resolver o problema de detecção precoce de avarias em isoladores de potência. Porém, pode-se observar, em uma análise mais ampla, que existe uma grande dificuldade em se apontar soluções factíveis, as quais permitam generalizar as propostas para os mais diversos tipos de problemas encontrados na prática por meio da utilização de ferramentas com inteligência. Com base nestes conceitos, este trabalho apresenta uma pesquisa da literatura a respeito da utilização de técnicas de inteligência computacional, visando-se então fornecer subsídios para a aplicação de tais ferramentas em problemas envolvendo a detecção prematura de avarias em isoladores de sistemas de transmissão de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Isoladores de potência, sistemas inteligentes, aprendizagem de máquinas, sistemas de transmissão de energia elétrica.

FAILURE DETECTION IN POWER INSULATORS: A RESEARCH OF THE LITERATURE RELATED TO THE USE OF INTELLIGENT SYSTEMS

ABSTRACT: The investigation of failure detection in power insulators has focused on the key variables involved in the aging process of these devices. Especially in environments with severe pollution, the premature degradation of insulators brings risks to the operation of the system, as well as losses to electric utilities, which lose revenue from unscheduled shutdowns or maintenance performed before the period established by the manufacturers. Many techniques have been proposed in the literature, which point out that intelligent systems are one of the most promising tools to solve the problem of early failure detection in power insulators. However, in a broader analysis, it can be seen that there is a lot of difficulty in pointing out solutions, which allow generalizing the proposals for the most diverse problems encountered in practice through the use of tools with intelligence. Based on these concepts, this work presents a literature search on the use of computational intelligence techniques, in order to provide subsidies for application of such tools in problems involving the premature detection of failures in insulators of power transmission systems.

KEYWORDS: Power insulators, intelligent systems, machine learning, power transmission system.

1 | INTRODUÇÃO

A satisfação que os clientes observam de um sistema elétrico tem uma estreita ligação com dois aspectos envolvendo a qualidade de energia, ou seja, a continuidade do fornecimento e o cumprimento dos níveis pré-determinados de tensão e frequência. De fato, estes dois aspectos relacionam-se com a qualidade de energia do ponto de vista de serviço e do ponto de vista de produto, respectivamente (SHAIK; MAHELA, 2018).

Com a segmentação dos sistemas elétricos em setores, o de transmissão é o responsável pelo transporte da energia em níveis mais elevados de tensão, visando-se uma operação segura e contínua do sistema, à medida que interconectam as centrais geradoras às subestações de distribuição de energia elétrica. Este setor pode ter sua continuidade afetada por uma infinidade de fatores. Entretanto, é de grande valia destacar a ação de envelhecimento dos isoladores de potência como sendo uma das principais causas envolvendo desligamentos não programados, afetando assim a qualidade de serviço (VERMA; REDDY, 2019).

Os ambientes a que estes dispositivos estão submetidos, muitas vezes contaminados por poluição de diversos tipos, acabam por acelerar o processo de envelhecimento, ou ainda, favorecer o aparecimento de falhas, especialmente descargas parciais (PETRI *et al.*, 2020).

Como as técnicas de detecção do nível de severidade da degradação na maioria das vezes são realizadas por inspeções invasivas e que podem necessitar de desligamentos programados, observa-se então atualmente um crescente número de propostas não invasivas de detecção de avarias que se fundamentam no monitoramento de variáveis

ambientais e elétricas. Com o propósito de se alimentar uma ferramenta de inteligência computacional capaz de fornecer uma resposta agregadora de todos os aspectos envolvidos com a detecção da degradação dos isoladores, cada vez mais pesquisas estão então buscando resolver o problema com abordagens variadas, tais como estimação de parâmetros, classificação de padrões e até mesmo otimização, empregando-se para tanto ferramentas com algum tipo de inteligência (ZHANG; CHEN, 2020).

A adoção de tais estratégias advém do fato de que, operando em condições ambientais diversas, os isoladores podem apresentar comportamentos não esperados ou ainda falhas indesejáveis, fazendo-se com que as variáveis ambientais e elétricas sejam de fundamental importância de monitoramento (HAO *et al.*, 2020).

Em um ambiente cada vez mais conectado, o conceito de *Smart Grid* aplicado aos Sistemas de Transmissão permite abstrair que as informações passarão a estar disponíveis em volumetria e velocidade compatível com a Internet das Coisas, tornando-se então o monitoramento de grandezas locais ou de repositórios uma realidade, a qual não pode ser descartada para a produção de soluções visando à detecção prematura da degradação dos isoladores (GHASEMPOUR, 2019).

Desta forma, pode-se apontar que um Sistema Inteligente é o mais procurado quando é preciso o relacionamento de grandezas de diferentes abstrações, conceitos e quantificação.

A utilização destas técnicas exige um grande conhecimento de Ciência de Dados por parte dos desenvolvedores, pois a incorreta preparação ou relacionamento destas grandezas pode acarretar em propostas não confiáveis, ou ainda, não generalizáveis, fornecendo-se então respostas incompatíveis para determinada classe de problemas.

A pesquisa da literatura apresentada neste capítulo, portanto, tem por objetivo fornecer ao leitor uma oportunidade de compreensão crítica das diversas propostas atualmente disponíveis, as quais visam a detecção da degradação de isoladores de sistemas de transmissão sob condições de poluição. Para tanto, serão então analisados aspectos envolvendo as variáveis elencadas para extração de características, tipos de sistemas inteligentes empregados, quantidade e qualidade dos dados utilizados nos processos de aprendizagem, dentre outros, em relação a trabalhos de grande visibilidade publicados nos últimos anos.

Nas seções a seguir serão apresentadas tais análises com uma breve explanação sobre o tópico alvo no início de cada seção. Comentários e considerações serão também apresentados ao fim de cada seção.

2 | ASPETOS DE ARQUITETURA E TOPOLOGIA DE SISTEMAS INTELIGENTES

Quando se busca a utilização de Sistemas Inteligentes para a resolução de problemas aplicados, muitos aspectos de arquitetura e topologia são determinados de

maneira metodológica; porém, também muitos os são de maneira empírica tendo por base a experiência do especialista sobre o assunto (KOOPIALIPOOR *et al.*, 2019).

Desta maneira, esta seção irá apresentar uma análise, em forma de tabela, de alguns trabalhos proeminentes em literatura que buscaram resolver o problema da detecção de avarias em isoladores de transmissão do ponto de vista de filosofia adotada para resolução do problema, visando-se então fornecer subsídios para o leitor tomar decisões quanto à escolha da ferramenta inteligente mais apropriada para determinado tipo de problema. Tais informações são apresentadas na Tabela 1.

| Referência | Técnica utilizada | Modelamento | Topologia | Comparativo |
|---------------------------------------|---|----------------------------|--|--|
| BELHOUCHE; BAYADI; BENDIB, 2015 | Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Genéticos | Aproximação de Funções | 10 indivíduos e 200 gerações | <i>Binary-coded genetic approach</i> e método de mínimos quadrados para os Algoritmos Genéticos e literatura para a Rede Neural Artificial |
| KHAFAT; EL-HAG, 2018(a) | Rede Neural Feedforward Não Linear Autoregressiva | Previsão de Série Temporal | 10 neurônios e 2 atrasos temporais | X |
| GOUDA; KHALIFA, 2017 | Redes MLP e RBF em paralelo | Classificador de Padrões | MLP: 10-40 RBF: 50-20-10 | X |
| KHAFAT; EL-HAG, 2018(b) | -Rede Neural Feedforward Não Linear Autoregressiva -Modelo de Entrada-Saída -NARX | Previsão de Série Temporal | Duas camadas escondidas e de 5 a 7 atrasos no tempo | Comparado qualitativamente com SVM e KNN |
| MUSSINA <i>et al.</i> , 2020 | CNN e Binary MLP | Classificação de Padrões | -CNN: 5 camadas de convolução e duas camadas densas -Binary MLP: 12-5 | Múltiplos algoritmos |
| TERRAB; BAYADI; EL-HAG, 2015 | Sistema Fuzzy | Classificação de Padrões | 3 regras | X |
| CHAOU; MEKHALDI; TEGUAR, 2015 | -KNN -NBC -SVM | Classificação de Padrões | X | Comparativo entre as ferramentas |
| DE SANTOS; BOBI, 2020 | Random Forest | Aproximação de Funções | X | Comparativo com RNA e SVM |
| XIA <i>et al.</i> , 2018 | -SVM -Fuzzy -Algoritmos Genéticos | Classificação de Padrões | X | Comparativo com MLP |
| THANH; CHO; DA, 2021 | MLP e PSO | Previsão de Série Temporal | X | Comparativo com MLP, KNN e SVM |

Tabela 1. Aspectos de Arquitetura e Topológicos de Sistemas Inteligentes.

Dos artigos reunidos na Tabela 1, apenas a referência (GOUDA; KHALIFA, 2017) utilizou uma base de dados mista para os processos de aprendizado por empregar respostas reais e simuladas, sendo que os demais utilizaram dados colhidos em seus próprios aparatos experimentais.

O termo MLP (*Multilayer Perceptrons*) refere-se às redes Perceptrons Multicamadas, as quais são redes neurais do tipo *feedforward* e que podem ser empregadas tanto em classificação de padrões como em aproximações de funções (GARDNER; DORLING, 1998). O termo RBF (*Radial Basis Function*) refere-se às Redes Neurais de Base Radial, que também podem ser empregadas em classificação de padrões ou aproximação de funções (LEONARD; KRAMER, 1991, PARK; SANDBERG, 1991).

O termo NARX (*Nonlinear AutoRegressive with eXogenous inputs*) refere-se às Redes Neurais Auto-regressivas com Entradas Exógenas, as quais são utilizadas em previsão de séries temporais (LIN *et al.*, 1996).

Já as Redes Neurais Convolucionais, ou CNN (*Convolutional Neural Network*), são amplamente aplicadas em problemas de classificação de padrões com dimensões de grande porte, especialmente aqueles envolvendo a classificação de imagens (O'SHEA; NASH, 2015).

O termo SVM (*Support Vector Machines*) refere-se às Máquinas de Vetores de Suporte, as quais são ferramentas de aprendizagem de máquinas também amplamente empregadas em problemas de classificação de padrões de grande porte, comumente apresentando melhores resultados que redes neurais do tipo MLP (VAPNIK; IZMAILOV, 2017).

O algoritmo KNN (*K-Nearest Neighbors*), ou K-ésimo Vizinho Mais Próximo, pode ser utilizado tanto em problemas de Classificação de Padrões quanto de Aproximação de Funções (ZHANG; MANI, 2003), assim como o *Random Forest* (BREIMAN, 2001).

O termo NBC (*Naive Bayes Classifier*) representa um classificador de padrões probabilístico que possui forte independência dos dados de entrada (LIU *et al.*, 2013).

O termo PSO (*Particle Swarm Optimization*), ou Otimização por Enxame de Partículas, refere-se a um algoritmo de otimização normalmente aplicado em classes de problemas de grande porte (KENNEDY; EBERHART, 1995).

Assim, uma variedade de modos de modelamento do problema pode ser observada a partir da Tabela 1; porém, em sua maioria são classificadores de padrões que buscam apresentar ao especialista um status da condição do isolador. Já os problemas modelados como aproximação de funções procuram estimar os parâmetros com base nas entradas escolhidas no processo de aprendizado, pois neste caso não se empregam dados atrasados no tempo. Há ainda as situações envolvendo a previsão de séries temporais, em que há a necessidade do emprego de entradas atrasadas no tempo, pois os autores procuraram estimar, por exemplo, a corrente de fuga nos isoladores.

Entretanto, uma análise mais ampla permite inferir que muitos autores combinaram

técnicas de otimização em suas propostas, em que não necessariamente modelam o problema como sendo de otimização. Ocorre que muitos passos dos algoritmos de aprendizado inteligente constituem-se de terminações topológicas ou paramétricas, os quais são propícios ao emprego de técnicas de otimização, tais como a determinação da quantidade de neurônios nas camadas e número de camadas escondidas, assim como de parâmetros internos dos algoritmos como taxas de aprendizado e quantidade de clusters, dentre outros.

Estudos envolvendo comparação de uma proposta com outras apontadas em literatura são fundamentais para o leitor balizar o impacto daquela abordagem para a sua escolha, sendo que isto se fez ausente em muitos trabalhos pesquisados e não somente nos apontados neste capítulo. Desta forma, torna-se possível elencar métodos de comparação com técnicas convencionais, com outras técnicas inteligentes, ou ainda, com outras comparações de literatura, mesmo que qualitativas.

Neste último entendimento, faz-se então necessário um questionamento a respeito da comparação com técnicas convencionais sobre o levantamento de teste de hipótese envolvendo o emprego de sistemas inteligentes. Este tópico será mais bem explorado na próxima seção.

3 | TESTE DE HIPÓTESE ENVOLVENDO O EMPREGO DE SISTEMAS INTELIGENTES

Atualmente, verifica-se em diversas áreas de conhecimento um encaminhamento para o emprego cada vez maior de ferramentas de inteligência computacional. Tal prática, sem método de análise do problema, pode implicar em propostas fundamentalmente fracas em termos de teste de hipótese quanto ao uso de um algoritmo de inteligência. De fato, existem diversos fatores que, além de promissores para o uso dessas ferramentas, são também primordiais para obtenção de resultados melhores quando comparados com aqueles advindos da aplicação de ferramentas convencionais (HORVITZ; BREESE; HENRION, 1988).

Assim, naquelas situações em que ferramentas convencionais já conseguem resolver os problemas de maneira eficiente, dificilmente então uma ferramenta inteligente conseguirá soluções melhores. Porém, ainda é possível o emprego de sistemas inteligentes nas soluções de tais problemas, uma vez que estas (em muitos casos) podem ser de mais fácil obtenção quando se visa propósitos de prototipagem, ou ainda, possibilitam uma melhor extração do relacionamento entrada/saída frente às ferramentas convencionais, analíticas ou numéricas.

Na Tabela 2 é apresentado um resumo com relação às referências envolvendo justamente uma análise qualitativa sobre o teste de hipótese implementado.

| Referência | Técnica utilizada | Modelamento | Teste de Hipótese |
|---------------------------------------|---|----------------------------|--|
| BELHOUCHE; BAYADI; BENDIB, 2015 | Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Genéticos | Aproximação de Funções | X |
| KHAFAT; EL-HAG, 2018(a) | Rede Neural Feedforward Não Linear Autoregressiva | Previsão de Série Temporal | X |
| GOUDA; KHALIFA, 2017 | Redes MLP e RBF em paralelo | Classificador de Padrões | X |
| KHAFAT; EL-HAG, 2018(b) | -Rede Neural Feedforward Não Linear Autoregressiva -Modelo de Entrada-Saída -NARX | Previsão de Série Temporal | X |
| MUSSINA <i>et al.</i> , 2020 | CNN e Binary MLP | Classificação de Padrões | X |
| TERRAB; BAYADI; EL-HAG, 2015 | Sistema Fuzzy | Classificação de Padrões | A incerteza com a sobreposição dos sinais de corrente de fuga, associada com a divisão das classes, foi utilizada para apoiar a escolha da ferramenta. |
| CHAOU; MEKHALDI; TEGUAR, 2015 | -KNN -NBC -SVM | Classificação de Padrões | X |
| DE SANTOS; BOBI, 2020 | Random Forest | Aproximação de Funções | X |
| XIA <i>et al.</i> , 2018 | -SVM -Fuzzy -Algoritmos Genéticos | Classificação de Padrões | X |
| THANH; CHO; DA, 2021 | MLP e PSO | Previsão de Série Temporal | X |

Tabela 2. Teste de Hipótese.

A partir da análise da Tabela 2, observa-se que apenas a referência (TERRAB; BAYADI; EL-HAG, 2015) apresenta explicitamente um teste de hipótese que justifique o emprego de Sistemas Fuzzy, o qual se baseia nos princípios das incertezas associadas ao problema. As demais propostas não deixaram explícita tal fundamentação, sendo que algumas observações são necessárias para complementar as informações aos leitores, ou seja:

- **Modelagem de classificação de padrões:** a justificativa da escolha de redes MLP precede o fato de as classes serem não linearmente separáveis, ou ainda, com regiões não convexas de separação (SCHALKOFF, 2007). O mesmo entendimento pode ser repassado para a SVM e a CNN.
- **Aproximação de funções:** as MLP justificam-se pelo Teorema da Aproximação Universal de Funções, em que as MLP com mais de duas camadas escondidas podem aproximar qualquer função matemática (SCARSELLI; TSOI, 1998). Nes-

te caso, é então necessário que o comportamento seja de difícil aproximação por técnicas convencionais.

- **Previsão de séries temporais:** os métodos de previsão convencionais falham ao especificar dados no futuro, sendo então uma possibilidade de atuação de técnicas de sistemas inteligentes, com a capacidade para obtenção de previsão de séries em sistemas dinâmicos. Para tanto, torna-se imprescindível a distinção entre Aproximação de Funções e técnica de Previsão de Séries Temporais, tendo-se em vista que a primeira não é apta para atuar em sistemas dinâmicos, ou seja, a variável a ser estimada depende dela mesma, tal como tipicamente modelado em sistemas de controle (HUNT *et al.*, 1992).
- **Dimensionalidade do problema:** este caso é o que permite inferir que SVM, CNN e KNN apresentariam melhores resultados que as MLP, tendo-se em vista sua ótima atuação em problemas de grande dimensionalidade de dados, sejam padrões, classes, entradas, instâncias etc. Cabe-se salientar que a instituição da CNN foi especificamente desenhada para propósitos envolvendo o processamento e tratamento de imagens (SIMARD; STEINKRAUS; PLATT, 2003).
- **Hibridização de técnicas:** o emprego simultâneo de mais de um sistema inteligente precisa ser calcado no fato de que o uso isolado de determinada técnica não conseguiria resolver o problema, sobretudo se comparado com técnicas convencionais. Um caso típico é a utilização de MLP com alguma técnica de otimização, a fim de se ter seus parâmetros internos encontrados de maneira ótima (MEDSKER, 2012).

Outro fato que surge destas análises é a necessidade de preparação dos dados para aprendizado. Conforme mencionado, aspectos de justificativa quanto à dimensionalidade estão intimamente relacionados e, neste caso, é de fundamental importância que análises de pré e pós-processamento dos dados sejam lançados.

4 | ASPECTOS DE DADOS PARA APRENDIZAGEM

A análise estatística dos dados disponíveis para aprendizado constitui uma importante etapa envolvendo o emprego de ferramentas inteligentes. Isso advém do fato que reside também nos dados parte da justificativa de utilização de técnicas inteligentes, tais como dimensionalidade, quantidade de atributos, inter-relacionamentos, dentre outros (AITCHISON, 1982).

Ao se utilizar bancos de dados, sejam eles coletados experimentalmente ou simulados, é imprescindível também se observar a presença de *outliers* (valores atípicos), pois estes podem impactar negativamente na eficiência da ferramenta. Desta forma, será então apresentado na Tabela 3 um resumo da análise dos dados utilizados nas propostas e que servirão para as discussões desta seção.

| Referência | Técnica utilizada | Pré-processamento | Origem dos Dados |
|---------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| BELHOUCHE; BAYADI; BENDIB, 2015 | Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Genéticos | X | Valores de tensão de <i>flashover</i> dependentes das dimensões dos isoladores, obtidos experimentalmente para quatro isoladores diferentes. |
| KHAFAT; EL-HAG, 2018(a) | Rede Neural Feedforward Não Linear Autoregressiva | X | Base de dados de corrente de fuga utilizando-se uma câmara experimental para a umidificação dos isoladores por meio de um umidificador ultrassônico, a qual foi obtida para diferentes níveis de contaminação e umidade. |
| GOUDA; KHALIFA, 2017 | Redes MLP e RBF em paralelo | X | A base de dados do treinamento foi obtida experimentalmente em laboratório; todavia, a base de dados de teste foi adquirida via simulação de um modelo dinâmico. |
| KHAFAT; EL-HAG, 2018(b) | -Rede Neural Feedforward Não Linear Autoregressiva -Modelo de Entrada-Saída -NARX | X | Base de dados de corrente de fuga utilizando-se uma câmara experimental para a umidificação dos isoladores por meio de um umidificador ultrassônico, a qual foi obtida para diferentes níveis de contaminação e umidade. |
| MUSSINA <i>et al.</i> , 2020 | CNN e Binary MLP | Transformada Wavelets e PCA | Para a CNN são obtidas imagens dos isoladores em situação de inverno utilizando um drone; para a MLP são obtidas medições de corrente de fuga através de experimentos laboratoriais. |
| TERRAB; BAYADI; EL-HAG, 2015 | Sistema Fuzzy | Transformada Wavelet e de Fourier | Os dados são obtidos experimentalmente utilizando uma câmara para simular a névoa, e os valores de corrente de fuga são medidos para os isoladores em diferentes níveis de umidificação. |
| CHAOU; MEKHALDI; TEGUAR, 2015 | -KNN -NBC -SVM | RQA | Os dados foram obtidos experimentalmente em laboratório por um procedimento de umidificação e contaminação artificial do isolador. |
| DE SANTOS; BOBI, 2020 | Random Forest | X | Dados medidos durante 22 meses de umidade, pressão atmosférica, direção do vento, velocidade do vento, nível de chuva, temperatura, ponto de orvalho, radiação solar, nível de poeira e corrente de fuga. |

| | | | |
|--------------------------|--|--|--|
| XIA <i>et al.</i> , 2018 | <p>-SVM -Fuzzy -Algoritmos Genéticos</p> | <p>Parâmetros foram extraídos do sinal de corrente de fuga, tais como: amplitude, fase e distorção harmônica total do sinal. Esses dados foram utilizados como entrada para o modelo SVM. A amplitude e a fase do sinal foram extraídas para cada instante no domínio da frequência utilizando a transformada S.</p> | <p>A base de dados utilizada foi obtida experimentalmente em testes de poluição artificial, nos quais os níveis de umidade e de contaminação dos isoladores foram variados.</p> |
| THANH; CHO; DA, 2021 | MLP e PSO | Filtros e normalizações | <p>As variáveis monitoradas foram a temperatura, umidade, ponto de orvalho e imagens de descargas parciais. As imagens das descargas são utilizadas como entradas exógenas do sistema e delas são extraídas a porcentagem da área da descarga e a mudança no brilho da imagem em relação às situações sem descarga. Além disso, os dados de corrente de fuga foram medidos por meio de um anel instalado na superfície dos isoladores.</p> |

Tabela 3. Aspectos de Dados para Aprendizagem.

O termo PCA (*Principal Component Analysis*) refere-se ao algoritmo que tem como princípio de funcionamento reconstruir o conjunto de dados original com o mínimo possível de dados que estão contidos neste mesmo conjunto (ABDI; WILLIAMS, 2010).

O termo RQA (*Recurrence Quantification Analysis*) refere-se ao algoritmo que é empregado para análises de dados não lineares provenientes de sistemas dinâmicos. Em essência, a técnica quantifica tanto o número como a duração das recorrências relacionadas a um sistema dinâmico frente ao seu percurso no espaço de fase (Webber Jr; Zbilut, 2005).

Muitos trabalhos apresentados na Tabela 3 não deixaram explícito como os dados foram obtidos. No entanto, é possível se realizar observações para melhor compreensão dos leitores, ou seja:

- **Múltiplas fontes de dados:** os sistemas inteligentes que mais tiveram sucesso utilizaram para suas análises grandezas de múltiplas abstrações, tais como elétricas, climáticas, ambientais e de poluição. Isto porque é possível uma gama maior de características a serem extraídas (VERMA; REDDY; CHAKRABORTY, 2018).
- **Dados no domínio do tempo:** muitos dados que foram apresentados aos sistemas inteligentes das propostas, apesar de não ser explicitamente citado, fo-

ram processados. Especialmente os dados elétricos coletados, geralmente no domínio do tempo, apresentam uma quantidade muito grande de pontos, que poderiam ser tratados por sistemas como SVM e CNN. Porém, ao se empregar ferramentas como MLP é então fundamental que estes dados sejam processados no domínio do tempo. Geralmente, sinais elétricos no domínio do tempo são também processados utilizando-se filtros RMS (MIHAELA; HEYDT, 2003) ou PCA para redução de dimensionalidade.

- **Dados no domínio da frequência:** os dados no domínio da frequência podem ser tão ou mais representativos que no domínio do tempo. Isso se deve ao fato de que mais características podem ser extraídas com menos variáveis, reduzindo-se então a complexidade algorítmica na entrada dos sistemas inteligentes (BARTLETT, 1998). Atualmente, as técnicas de Transformada Wavelet vêm substituindo aquelas envolvendo Transformada de Fourier, visto que a primeira é capaz de realizar análises no tempo e na frequência com uma quantidade reduzida de pontos, além de funcionar tanto para sinais estacionários quanto não estacionários (STEFENON *et al.*, 2020). De fato, a justificativa de utilização da Transformada de Fourier em sinais não estacionários está no fato de se empregar a Transformada de Fourier Janelada ou STFT (*Short-Time Fourier Transform*), ou ainda, a Transformada S (XIA *et al.*, 2018).
- **Dados discretos:** o emprego de dados discretos, especialmente aqueles de grandezas ambientais e climáticas também carecem de maiores detalhes. Estes dados precisam ser normalizados de maneira a se respeitar os limites mínimos e máximos envolvendo os processos de aprendizado. Se não respeitados tais limites, as matrizes de aprendizado podem então incorrer em mal condicionamento, ou ainda, limites impróprios que podem levar a validações inconsistentes de generalização. Usualmente, busca-se que os dados sejam discretizados sob o mesmo critério, tais como dados a cada minuto, a cada hora, etc. Caso não seja possível, o ideal é que um critério comum seja realizado, significando-se que dados artificiais necessitam ser inseridos ou dados reais precisam ser retirados em um processo de reamostragem (DIXON; EARLS, 2009).
- **Busca por outliers:** a busca e eliminação de *outliers* são fundamentais para garantir a integridade do processo de aprendizado. Esses *outliers* podem ser um erro de medição ou armazenamento, mas também pode ser um dado crucial para o processo de treinamento, especialmente da MLP. Por isso, simplesmente desprezá-lo não é uma solução ótima quando se irão empregar sistemas inteligentes (LIANO, 1996). O conjunto de dados ainda pode ser preenchido com uma ferramenta inteligente, tal como MLP, ou seja, o processo de reamostragem quando necessita da inclusão de dados que foram excluídos por *outliers* pode ser realizado por meio de uma ferramenta com inteligência (TRAN; GARCEZ, 2016).

51 CONCLUSÕES

Uma pesquisa foi feita neste capítulo considerando trabalhos proeminentes na literatura que trataram do monitoramento da condição de isoladores de potência nos últimos anos. Quanto aos objetivos dos trabalhos analisados, a maioria deles está focada em prever ou estimar uma variável específica, a qual está relacionada à condição do isolador, como LC (*Leakage Current*) ou emissões acústicas. No entanto, eles não fornecem sistemas inteligentes completos que possam tomar decisões considerando os diversos aspectos que estão relacionados com a operação do isolador e a ocorrência de *flashovers* (descargas disruptivas).

Outro aspecto investigado diz respeito à seleção da topologia e arquitetura do sistema inteligente, assim como a importância de se determinar uma metodologia para apoiar essa escolha, devido então ao impacto que esses aspectos têm sobre o desempenho do modelo. Além disso, os estudos também foram avaliados quanto à presença de análises comparativas entre seus métodos e os convencionais. Também foi destacada a importância de apresentar esta análise para agregar confiabilidade aos resultados, os quais podem ser utilizados pelos leitores como uma métrica para a escolha de sistemas inteligentes adequados para cada aplicação em particular.

A importância de avaliar sistematicamente a necessidade de métodos inteligentes para cada aplicação, usando testes de hipóteses, por exemplo, também foi investigada. Essa avaliação geralmente não é observada na literatura e pode impedir os projetistas de aplicar métodos inteligentes em problemas que poderiam ser resolvidos com métodos convencionais simples. Este procedimento é uma fase importante durante a construção de um sistema inteligente, sendo tão relevante quanto o pré e pós-processamento do conjunto de dados utilizado como entrada do modelo. Os sistemas inteligentes muitas vezes passam por uma fase de aprendizado durante a sua implementação, sendo que esta é profundamente dependente dos dados disponíveis, ou seja, se tais dados não representarem corretamente o sistema que está sendo modelado, o aprendizado será então deficiente e levará a modelos inteligentes com mau desempenho.

Portanto, em suma, este trabalho apresentou uma extensa revisão sobre trabalhos relevantes encontrados na literatura, sendo que a principal contribuição foi extrair suas principais características para relacioná-los qualitativamente com conceitos básicos de construção de sistemas inteligentes, os quais normalmente são negligenciados. Ao criar um novo modelo inteligente, para qualquer aplicação, considerar os aspectos que foram levantados durante esta sintetização pode fazer uma grande diferença entre um modelo de sucesso e um modelo com baixo desempenho. Assim, espera-se que este estudo forneça subsídios conceituais para pesquisadores que trabalham com sistemas inteligentes, especialmente aqueles que investigam o monitoramento de condições de isoladores de potência.

REFERÊNCIAS

ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.

AITCHISON, J. The statistical analysis of compositional data. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 44, n. 2, p. 139-160, 1982.

KHAFAT, N. A.; EL-HAG, A. Bayesian regularization of neural network to predict leakage current in a salt fog environment. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 25, n. 2, p. 686-693, 2018(b).

BARTLETT, P. L. The sample complexity of pattern classification with neural networks: the size of the weights is more important than the size of the network. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 44, n. 2, p. 525-536, 1998.

BELHOUCHE, K.; BAYADI, A.; BENDIB, M. E. Artificial neural networks (ANN) and genetic algorithm modeling and identification of arc parameter in insulators flashover voltage and leakage current. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING*, 4., 2015, Boumerdes, Argélia. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2015.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

CHAOU, A. K.; MEKHALDI, A.; TEGUAR, M. Recurrence quantification analysis as a novel LC feature extraction technique for the classification of pollution severity on HV insulator model. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 22, n. 6, p. 3376-3384, 2015.

DE SANTOS, H.; BOBI, M. A. S. A cumulative pollution index for the estimation of the leakage current on insulator strings. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 2020.

DIXON, B., EARLS, J. Resample or not?! Effects of resolution of DEMs in watershed modeling. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 23, n. 12, p. 1714-1724, 2009.

GARDNER, M. W.; DORLING, S. R. Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. **Atmospheric Environment**, v. 32, n. 14-15, p. 2627-2636, 1998.

GHASEMPOUR, A. Internet of things in smart grid: architecture, applications, services, key technologies, and challenges. **Inventions**, v. 4, n. 1, 22, 2019.

GOUDA, O. E.; KHALIFA, D. M. Online monitoring of medium voltage overhead distribution lines polluted insulators severity. **IET Journals**, v. 2017, 5 p., 2017.

HAO, Y. *et al.* Experimental investigation on influence of shed parameters on surface rainwater characteristics of large-diameter composite post insulators under rain conditions. **Energies**, v. 13, n. 19, 5011, 2020.

HORVITZ, E. J.; BREESE, J. S.; HENRION, M. Decision theory in expert systems and artificial intelligence. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 2, n. 3, p. 247-302, 1988.

HUNT, K. J. *et al.* Neural networks for control systems—a survey. **Automatica**, v. 28, n. 6, p. 1083-1112, 1992.

KENNEDY, J.; EBERHART, R. Particle swarm optimization (PSO). *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS*, 1995, Perth, Australia. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 1995.

KHAFRAF, N. A.; EL-HAG, A. H. Prediction of leakage current peak value. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MECHATRONICS AND ITS APPLICATIONS*, 11., 2018(a), Sharjah, Emirados Árabes Unidos. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2018(a).

KHAFRAF, N. A.; EL-HAG, A. Bayesian regularization of neural network to predict leakage current in a salt fog environment. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 25, n. 2, p. 686-693, 2018(b).

KOOPIALIPOOR, M. *et al.* Applying various hybrid intelligent systems to evaluate and predict slope stability under static and dynamic conditions. **Soft Computing**, v. 23, n. 14, p. 5913-5929, 2019.

LEONARD, J. A.; KRAMER, M. A. Radial basis function networks for classifying process faults. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 11, n. 3, p. 31-38, 1991.

LIANO, K. Robust error measure for supervised neural network learning with outliers. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 7, n. 1, p. 246-250, 1996.

LIN, T. *et al.* Learning long-term dependencies in NARX recurrent neural networks. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 7, n. 6, p. 1329-1338, 1996.

LIU, B., *et al.* Scalable sentiment classification for big data analysis using naïve bayes classifier. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA*, 2013, Silicon Valley, USA. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2013.

MEDSKER, L. R. **Hybrid intelligent systems**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012. 312 p.

MIHAELA, A.; HEYDT, G. T. On the use of RMS values in power quality assessment. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 18, n. 4, p. 1586-1587, 2003.

MUSSINA, D. *et al.* Multi-modal data fusion using deep neural network for condition monitoring of high voltage insulator. **IEEE Access**, v. 8, p. 184486-184496, 2020.

O'SHEA, K.; NASH, R. An introduction to convolutional neural networks. ARXIV, v. 1511.08458, 10 p., 2015.

PARK, J.; SANDBERG, I. W. Universal approximation using radial-basis-function networks. **Neural Computation**, v. 3, n. 2, p. 246-257, 1991.

PETRI, L. P. S. *et al.* A portable system for the evaluation of the degree of pollution of transmission line insulators. **Energies**, v. 13, n. 24, 6625, 2020.

SCARSELLI, F.; TSOI, A. C. Universal approximation using feedforward neural networks: A survey of some existing methods, and some new results. **Neural Networks**, v. 11, n. 1, p. 15-37, 1998.

SCHALKOFF, R. J. Pattern recognition. *In*. WAH, B. W. (org.). **Wiley encyclopedia of computer science and engineering**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.

SHAIK, A. G.; MAHELA, O. P. Power quality assessment and event detection in hybrid power system. **Electric Power Systems Research**, v. 161, p. 26-44, 2018.

SIMARD, P. Y.; STEINKRAUS, D.; PLATT, J. C. Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. *In*: SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DOCUMENT ANALYSIS AND RECOGNITION , 7., 2003, Edinburgh, UK. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2003.

STEFENON, S. F. *et al.* Wavelet group method of data handling for fault prediction in electrical power insulators. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 123, 106269, 2020.

TERRAB, H.; BAYADI, A.; EL-HAG, A. H. A fuzzy logic based approach to evaluate the surface conditions of ceramic outdoor insulators. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING, 4., 2015, Boumerdes, Argélia. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2015.

THANH, P. N.; CHO, M. Y.; DA, T. N. Insulator leakage current prediction using surface spark discharge data and particle swarm optimization based neural network. **Electric Power Systems Research**, v. 191, 106888, 2021.

TRAN, S. N.; GARCEZ, A. S. A. Deep logic networks: Inserting and extracting knowledge from deep belief networks. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, v. 29, n. 2, p. 246-258, 2016.

VAPNIK, V.; IZMAILOV, R. Knowledge transfer in SVM and neural networks. **Annals of Mathematics and Artificial Intelligence**, v. 81, n. 1-2, p. 3-19, 2017.

VERMA, A. R.; REDDY G. S.; CHAKRABORTY, R. Multistress aging studies on polymeric insulators. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 25, n. 2, p. 524-532, 2018.

VERMA, A. R.; REDDY, B. S. Interpretation of surface degradation on polymeric insulators. **Engineering Failure Analysis**, v. 95, p. 214-225, 2019.

WEBBER JR, C. L.; ZBILUT, J. P. Recurrence quantification analysis of nonlinear dynamical systems. **Tutorials in Contemporary Nonlinear Methods for the Behavioral Sciences**, v. 94, n. 2005, p. 26-94, 2005.

XIA, Y., *et al.* Applying S-transform and SVM to evaluate insulator's pollution condition based on leakage current. International conference on the properties and applications of dielectric materials, 12., Xi'an, China. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2018.

ZHANG, D.; CHEN, S. Intelligent recognition of insulator contamination grade based on the deep learning of ultraviolet discharge image information. **Energies**, v. 13, n. 19, 5221, 2020.

ZHANG, I.; MANI, I. kNN approach to unbalanced data distributions: a case study involving information extraction. *In*: WORKSHOP ON LEARNING FROM IMBALANCED DATASETS, 2003, Washington DC, USA. **Anais [...]**. Palo Alto: AAAI, 2003.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ânodos 1, 5, 7, 8

Aprendizado de máquina 28

Aprendizagem de máquinas 41, 45

Armazenamento de energia 2, 6, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 136, 137

B

Bateria 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Busca harmônica 94, 95, 96, 99, 100, 101, 102, 105, 107

C

Cátodos 1, 3, 4, 5, 9, 10, 12

Computação na nuvem 28, 36

Controle inteligente 95

Controle ótimo 95, 98

E

Electric system 14, 15, 16, 17, 25

Excedente de energia 126

F

Fontes renováveis 126, 127, 128, 131, 136, 137

H

Hidrogênio 126, 127, 128, 129, 131, 132, 134, 135, 136, 137

I

IBM Cloud 28, 29, 30, 39

Isoladores de potência 41, 42, 52

M

Máquinas de vetores de suporte 28, 31, 40, 45

Modelagem cinemática 108

Modelagem dinâmica 108, 119

Motor de indução trifásico 28, 29, 35

N

Nióbio 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

O

Otimização por enxame de partículas 45, 94, 95, 97, 100, 105

P

Photovoltaic solar power 15

Power generation forecasting 15

R

Regulador linear quadrático 94, 95, 96, 98, 105, 107

Renewable energy 14, 15, 16, 20, 25, 26, 27, 92, 131, 136, 137

Robô Scara T3 401SS 108

S

Sistema de controle não linear 108

Sistemas de transmissão de energia elétrica 41

Sistemas inteligentes 29, 41, 43, 44, 46, 48, 50, 51, 52

SPSS Modeler 28, 29, 30, 31, 37, 38


W

Wind power 14, 15, 17, 20, 21, 22, 24, 26

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](#) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIA ELÉTRICA:

Sistemas de energia elétrica
e telecomunicações

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](#) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 