

Avaliação do Estado de Cabos isolados por Meio da Análise de Descargas Parciais: Uma Revisão

Andréia Coelho Domingos
Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia-MG, Brasil
andrea.domingos@ufu.br

Rafael de Sousa Santos
Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia-MG, Brasil
rafael.sousa@ufu.br

Alan Petronio Pinheiro
Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia-MG, Brasil
alanpetronio@ufu.br

João Vitor Ramos Mitidiero
Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Uberlândia-MG, Brasil
joao.mitidiero@ufu.br

Resumo — A confiabilidade dos cabos isolados em sistemas elétricos é imprescindível para a segurança e continuidade do fornecimento de energia elétrica. A análise de descargas parciais é frequentemente aplicada para diagnosticar falhas no isolamento, facilitando a antecipação de problemas incipientes. Este artigo apresenta uma revisão sobre a avaliação do estado de cabos isolados com base na análise de descargas parciais, sendo discutidos seus fundamentos, os principais tipos de descargas, as causas que influenciam sua ocorrência e as metodologias de medição e monitoramento. A análise de descargas parciais é um recurso importante para avaliar a degradação do isolamento e auxiliar na tomada de decisão sobre a substituição de cabos antes que falhas críticas ocorram. No entanto, fatores como interferências externas, variabilidade operacional e desafios na interpretação dos dados este trabalho busca aprofundar a compreensão dos desafios e das oportunidades da análise de DP no processo de gestão da integridade dos cabos isolados em sistemas elétricos.

Keywords— avaliação, cabos isolados, descargas parciais, medição de descargas parciais, monitoramento.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem vivenciado um crescimento significativo na demanda por energia elétrica. Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) indicam que o consumo de energia elétrica no país deverá crescer, em média, 2,1% ao ano até 2034, alcançando 870 TWh nesse período [1]. Esse aumento é impulsionado por diversos fatores, que podem adicionar até 9 GW de demanda máxima à rede elétrica até 2035 [2].

Para atender a essa crescente demanda, é fundamental manter a integridade dos cabos isolados que compõem a infraestrutura de transmissão e distribuição de energia. Isso tem levado muitas concessionárias a substituírem abordagens reativas - em que as falhas são corrigidas após sua ocorrência - por estratégias, que destinam-se a antecipar possíveis problemas e agir preventivamente [3]. Neste cenário, a análise baseada em descargas parciais possibilita ao gestor assumir o controle de seus ativos, realizando intervenções eficazes para evitar danos permanentes e reduzir custos com reparos emergenciais.

A resistência do isolamento dos cabos elétricos é um fator primordial para o bom funcionamento das instalações elétricas. Fatores ambientais e operacionais, como temperatura elevada, umidade, radiação e esforços mecânicos,

podem acelerar a degradação do isolamento. Esse processo pode resultar em curtos-circuitos, falhas dielétricas e até incêndios, afetando a segurança e a continuidade do sistema elétrico. Por isso, a realização de testes periódicos de resistência de isolamento é imprescindível para identificar possíveis degradações, permitindo intervenções preventivas antes que ocorram falhas mais graves no sistema elétrico [4].

Neste contexto, a análise de descargas parciais (DPs) se apresenta como uma ferramenta complementar para o monitoramento do estado das condições dos cabos isolados. As DPs são descargas elétricas localizadas que ocorrem dentro do isolamento dos cabos, sem causar uma ruptura total do material. Elas são caracterizadas pela degradação de pequenas regiões do isolamento, provocadas por estresse operacional ou de sobretensão, frequentemente associadas à presença de vazios, cavidades, rachaduras ou outras falhas no material isolante [5]. Estratégias de diagnóstico dependem de medições complementares realizadas tanto offline quanto durante o monitoramento online. O principal desafio está na detecção de sintomas diagnósticos e o uso eficaz dos dados obtidos. De modo geral, a compreensão aprofundada dos mecanismos físicos subjacentes e dos fenômenos implicados, o que possibilitará a correta interpretação das informações diagnósticas obtidas [6].

Este artigo apresenta uma revisão abrangente sobre a aplicação da análise de descargas parciais na avaliação do estado de cabos isolados. Serão discutidos os fundamentos das DPs, as técnicas de medição e monitoramento, o impacto das DPs na vida útil dos cabos, bem como as estratégias de mitigação e manutenção baseadas na análise de DPs. O objetivo é fornecer subsídios para profissionais e pesquisadores na implementação de práticas que assegurem a eficiência e a longevidade dos sistemas de distribuição elétrica, utilizando a análise de DPs como ferramenta de monitoramento contínuo.

II. FUNDAMENTOS DAS DESCARGAS PARCIAIS

A. Definição e Ocorrência

As descargas parciais são fenômenos elétricos caracterizados por descargas localizadas dentro de um sistema de isolamento elétrico, sem resultar em uma ruptura completa entre os condutores. Essas descargas ocorrem quando o campo elétrico em uma região específica do isolamento excede a rigidez dielétrica do material, permitindo a ionização do meio e a formação de pequenas descargas elétricas [7]. Conforme

mostrado na Figura 1, durante a fabricação, pequenas bolhas de ar podem ser retidas no material dielétrico. Quando o isolamento é exposto a tensões elevadas, ocorre uma distribuição assimétrica do campo elétrico, com uma diferença entre o campo nas microcavidades de ar e o presente na camada dielétrica ao redor.

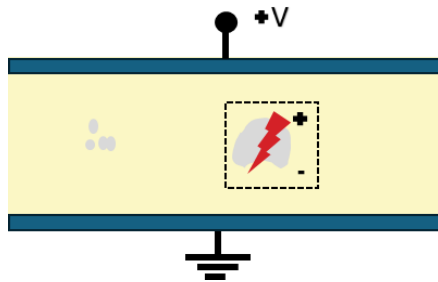


Fig. 1. Exemplo de descarga parcial interna.

A ocorrência de DP está associada a diversas condições dentro do sistema de isolamento, como imperfeições no material isolante, presença de cavidades, contaminantes, interfaces inadequadas entre camadas de isolamento e gradientes de campo elétrico elevados. Em cabos isolados, podem ocorrer falhas na fabricação, danos mecânicos, envelhecimento do material e até mesmo fatores ambientais, como umidade e temperatura [7]. Com o tempo, essas descargas podem degradar o isolamento, reduzindo sua capacidade de suportar tensões elétricas e aumentando o risco de falha do equipamento.

B. Tipos de Descargas Parciais

A compreensão dos diferentes tipos de descargas parciais é de suma importância para a correta identificação de defeitos e a aplicação de técnicas de monitoramento. Os principais tipos de DPs incluem descargas internas, descargas de superfície e descargas corona.

As descargas internas ocorrem dentro do material isolante, geralmente em cavidades ou bolhas de gás que podem estar presentes devido a defeitos de fabricação ou ao envelhecimento da isolação. Essas descargas são particularmente prejudiciais, pois degradam progressivamente a estrutura do isolante, formando caminhos condutivos que podem levar a uma falha completa do sistema [8].

As descargas de superfície ocorrem na interface entre o isolante sólido e o meio ambiente. São frequentemente associadas à presença de contaminação, umidade ou poluição, que facilitam a formação de um caminho condutivo ao longo da superfície do isolante. Essas descargas podem evoluir para um fenômeno conhecido como rastreamento elétrico, no qual a degradação progressiva da superfície isolante resulta na formação de trilhas condutivas, aumentando o risco de falha dielétrica [8].

As descargas corona ocorrem em regiões com alta intensidade de campo elétrico, como em pontas ou irregularidades nos condutores. Esse fenômeno resulta na ionização do ar circundante, produzindo um brilho característico e, em determinadas condições, ruído audível. Embora as descargas corona possam não causar danos imediatos ao isolante, a emissão contínua de radiação ultravioleta e a formação de subprodutos químicos, como ozônio e óxidos de nitrogênio, podem acelerar a degradação da isolação e comprometer a segurança do sistema elétrico [8].

C. Fatores Contribuintes

Diversos fatores podem influenciar o surgimento de descargas parciais em cabos isolados. O estudo [9], identificou que defeitos na fabricação e falhas no isolamento podem levar à formação de descargas internas, enquanto a contaminação superficial pode induzir descargas de superfície. O envelhecimento térmico é um dos principais fatores, pois a operação contínua sob temperaturas elevadas acelera a degradação dos materiais isolantes, reduzindo sua rigidez dielétrica e tornando-os mais suscetíveis a falhas [10]. Outro fator relevante é a presença de umidade, que pode infiltrar-se no isolamento do cabo por meio de falhas na cobertura externa, emendas ou terminações mal executadas. A umidade contribui para a formação de arborescências aquosas, microestruturas que comprometem a integridade do isolamento e facilitam a ocorrência de descargas parciais, principalmente quando combinadas com um campo elétrico significativo [11].

A temperatura também exerce grande influência sobre a ocorrência de descargas parciais. O estudo [12] demonstrou que a carga dessas descargas pode aumentar até 54,9% com a elevação da temperatura, tornando o isolamento mais vulnerável.

Além disso, defeitos mecânicos podem ser responsáveis pelo surgimento de descargas parciais, uma vez que danos físicos, como cortes, abrasões ou deformações no isolamento, criam pontos de concentração de campo elétrico que favorecem a iniciação dessas falhas. Esses danos geralmente resultam de manuseio inadequado durante a instalação ou manutenção, podendo incluir esforços excessivos, raios de curvatura reduzidos ou perfurações involuntárias no isolamento [13].

Os estresses elétricos excessivos representam outra causa relevante, pois sobretensões transitórias, como aquelas geradas por manobras de comutação ou descargas atmosféricas, podem submeter o isolamento a níveis de tensão superiores à sua capacidade dielétrica [14]. Esse tipo de estresse torna-se ainda mais crítico na presença de impurezas ou vazios no material isolante, pois esses fatores intensificam a concentração do campo elétrico e aumentam a probabilidade de falhas.

A qualidade dos acessórios e terminações utilizados nos cabos também exerce influência significativa na ocorrência de descargas parciais [15]. A instalação inadequada de emendas e terminações pode introduzir irregularidades no sistema de isolamento, criando pontos de alta tensão localizados que favorecem o aparecimento dessas descargas. Estudos indicam que uma parcela significativa das falhas em sistemas de cabos está associada a problemas nos acessórios, frequentemente causados por erros de instalação ou pelo uso de componentes de baixa qualidade [16].

III. TÉCNICA DE MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DE DESCARGAS PARCIAIS

A. Medição Offline

A medição *offline* é um método amplamente utilizado na avaliação da integridade de cabos elétricos, permitindo a detecção de falhas no isolamento em condições controladas. Segundo [17], esse método oferece flexibilidade para analisar descargas parciais em diferentes cenários de falha, possibilitando a variação dos níveis de tensão aplicados e a

identificação de padrões específicos de defeitos. Esse tipo de ensaio é realizado com os cabos fora de operação, garantindo a aplicação segura de tensões de teste, como demonstrado na Figura 2.



Fig. 2. Exemplo de medição offline.

A principal vantagem da medição offline é a possibilidade de aplicar tensões superiores às de operação, permitindo uma análise mais detalhada das condições do isolamento. Dessa forma, é possível identificar pontos críticos e antecipar possíveis falhas antes que elas resultem em interrupções inesperadas no sistema elétrico [18]. Por ser realizado em condições controladas, esse tipo de ensaio é frequentemente utilizado tanto em testes de aceitação de novos cabos quanto na avaliação periódica de cabos em serviço.

B. Medição Online

A medição *online* é um método essencial para o monitoramento contínuo da condição dos cabos elétricos em operação. Diferentemente da medição offline, esse ensaio é realizado sem a necessidade de desligamento do sistema. Como o teste é realizado com os cabos energizados, ele reflete as condições reais de estresse elétrico, térmico e ambiental a que o cabo está submetido durante a operação. No entanto, estudos indicam que a sensibilidade da medição pode ser reduzida devido à presença de ruído operacional e interferências externas [17].

A implementação de sistemas de monitoramento contínuo baseados na medição online permite acompanhar a evolução das descargas ao longo do tempo, oferecendo uma visão detalhada do envelhecimento do isolamento.

C. Análise PRPD (Phase Resolved Partial Discharge)

A técnica PRPD é amplamente utilizada na análise, permitindo a caracterização detalhada das fontes de descargas em sistemas isolantes. Em [19], discute-se como os padrões PRPD podem indicar a presença de defeitos internos, descargas superficiais e descargas corona, diferenciando ruídos de sinais genuínos. Esse método baseia-se na relação entre a amplitude e a distribuição temporal dos pulsos de DP ao longo do ciclo da tensão aplicada, possibilitando a identificação de padrões característicos de diferentes tipos de descargas, como ilustrado na Figura 3.

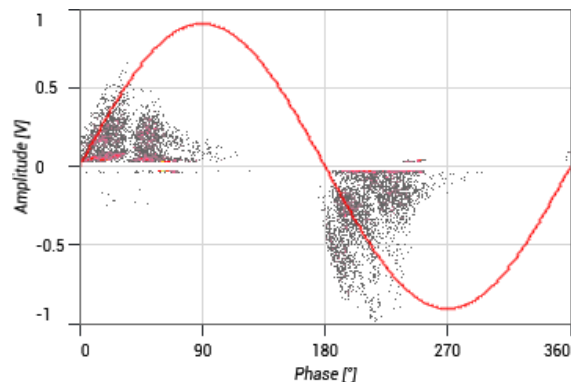


Fig. 3. Exemplo de padrão PRPD para análise.

A principal vantagem da análise PRPD é a capacidade de distinguir entre descargas internas, superficiais e corona, além de permitir a diferenciação entre descargas genuínas e interferências externas. Isso ocorre porque a ocorrência das descargas parciais está diretamente relacionada à fase da tensão do sistema, o que possibilita identificar tendências específicas associadas a defeitos no isolamento [19].

D. Métodos Modernos

Com o avanço da tecnologia, novas abordagens têm sido desenvolvidas para aprimorar a detecção e classificação de DPs. Métodos baseados em inteligência artificial e aprendizado de máquina vêm ganhando destaque, permitindo uma análise mais precisa e automatizada dos sinais de DP.

Redes neurais artificiais (RNAs) têm sido amplamente empregadas na identificação de padrões complexos em sinais elétricos. Elas permitem o reconhecimento de DPs com alta confiabilidade, diferenciando-as de ruídos elétricos e outras interferências. Por exemplo, um estudo aplicou técnicas de machine learning para o reconhecimento automático de padrões em sinais UHF de DPs, utilizando uma rede neural artificial que alcançou uma acurácia média superior a 95% na classificação dos sinais [20].

Outro avanço significativo está no uso da decomposição de séries temporais. O uso de técnicas como a Transformada Hilbert-Huang possibilita a separação dos componentes do sinal de DP, destacando suas características principais. Essa abordagem permite uma análise detalhada da evolução das descargas ao longo do tempo, facilitando a identificação de tendências que indicam degradação do isolamento. Em uma pesquisa, essa técnica foi utilizada para verificar padrões de comportamento das DPs nos domínios do tempo e da frequência, auxiliando na classificação e diagnóstico [21].

Metodologias híbridas, que combinam diferentes técnicas, têm mostrado resultados promissores. Um exemplo é a utilização conjunta de Decomposição Empírica de Modos (EMD) e RNAs para previsão de séries temporais de vazões, onde a decomposição do sinal original em componentes intrínsecos permitiu uma modelagem mais precisa e uma redução significativa nos erros de previsão [22].

IV. IMPACTO DAS DESCARGAS PARCIAIS NA VIDA ÚTIL DOS CABOS

A presença contínua de descargas parciais acelera a degradação do material isolante, reduzindo significativamente a vida útil dos cabos. Estudos mostram que fatores como temperatura e tensão aplicada influenciam diretamente a deterioração do isolamento [17].

Segundo [23], a ocorrência de descargas parciais em sistemas de cabos pode acelerar o envelhecimento do material isolante, pois essas descargas geram microdescargas que promovem a deterioração local da isolação, facilitando o aparecimento de fenômenos como a formação de árvores elétricas e a degradação química do XLPE. Essa deterioração, progressiva e muitas vezes imperceptível nos estágios iniciais, pode, se não diagnosticada e corrigida, levar à falha total do cabo. Quando os defeitos localizados são diagnosticados corretamente e os cabos são reparados, conforme apontado por [26], mais de 75% dos sistemas de cabos originalmente considerados envelhecidos e candidatos à substituição podem ser reabilitados com sucesso, permanecendo em serviço por mais de vinte anos, desde que as falhas sejam identificadas e corrigidas de forma eficaz.

No entanto, [27] destacam que podem surgir dificuldades adicionais, como a observação de falhas em um período inferior à vida útil média dos condutores ou a omissão de parâmetros críticos no processo de coleta de dados, o que pode prejudicar a análise precisa das falhas.

No contexto dos cabos submetidos a tensão contínua (DC), o desafio se intensifica. Em [23], é destacado que, embora os cabos XLPE operando em regime DC possam ter uma vida útil teoricamente mais prolongada, a presença de descargas parciais exerce um efeito acelerador na redução do tempo de operação seguro. A complexidade dos mecanismos de descarga sob tensão DC, que inclui a influência acumulativa da carga espacial e os estresses térmicos e mecânicos (TEAM), dificulta a detecção e a interpretação dos padrões de descargas parciais, exigindo técnicas de monitoramento mais sofisticadas para uma avaliação precisa do estado de saúde do cabo.

Apesar da extensa pesquisa, ainda há pouco conhecimento sobre os efeitos dos surtos de impulso no envelhecimento do isolamento. De acordo com [24], o isolamento exposto a surtos de alta tensão pode sofrer danos físicos diversos, como abrasões e marcas de queimadura. A literatura também aponta que o estresse de impulso altera as propriedades elétricas e físicas do material isolante, o que pode impactar diretamente o comportamento das DP's [24; 26].

V. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE DP NA AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS CABOS

A análise de descargas parciais é amplamente utilizada para avaliar a integridade do isolamento de cabos XLPE em diferentes níveis de tensão. Para isso, são empregados métodos de medição que permitem identificar a presença, a intensidade e a distribuição das descargas ao longo do ciclo da tensão aplicada. A avaliação do estado dos cabos é realizada por meio da captura e análise dos sinais de descargas parciais, classificando-os conforme sua magnitude e origem.

Segundo [29], a ausência de valores limite definidos para cabos de alta tensão é destacada, ressaltando que qualquer indício de atividade de descarga nesses cabos requer uma investigação detalhada.

Em [30], os valores limite para a carga aparente de descarga parcial observados em cabos de baixa a média tensão XLPE e suas terminações estão resumidos na Tabela I. Já para cabos de alta tensão, não existe um nível tolerável de atividade de descarga. Isso significa que qualquer atividade de descarga detectada nesses cabos exige localização e reparo imediatos.

TABLE I. NÍVEIS DE DESCARGAS

Valor de DP	Ação
0 -500 pC	Nível Recomendado
500-1000 pC	Recomenda monitoramento
1000-2500 pC	Risco potencial
> 2500 pC	Risco Grave

Segundo [31], um estudo realizado em uma concessionária do Reino Unido, durante um período de 18 meses, testou 188 cabos de 33 kV com um dispositivo de teste de cabo online, conforme descrito acima, como mostrado na Tabela II. A classificação foi feita usando uma combinação de amplitude, gráfico de fase resolvida e análise de forma de onda.

TABLE II. NÍVEIS DE DESCARGAS

Valor de DP	Ação
0 -1000 pC	Normal
1000-2000 pC	Investigar possível fonte
>2000 pC	Atividade séria de DP

Em outro estudo, [32], são apresentados níveis de descargas parciais observados em diferentes tipos de cabos e condições de operação, demonstrado na Tabela III.

TABLE III. NÍVEIS DE DESCARGAS

Valor de DP	Ação
0 -250 pC	Descarga dentro de limites aceitáveis
250-350 pC	Monitoramento recomendado
350-500 pC	Preocupação, recomenda-se monitoramento regular
> 500 pC	Grande preocupação, reparar ou substituir

VI. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E MANUTENÇÃO BASEADAS EM DP

A mitigação dos efeitos das descargas parciais (DP) é essencial para garantir a longevidade dos cabos isolados. Diversas técnicas têm sido desenvolvidas para minimizar os impactos das DP's, incluindo a melhoria da blindagem dos cabos. Uma blindagem adequada reduz a intensidade do campo elétrico nas regiões críticas do isolamento, diminuindo a probabilidade de ocorrência de DP's [33].

Além disso, o controle rigoroso da umidade é crucial, pois a presença de água pode reduzir a rigidez dielétrica do material isolante, facilitando a formação de DP's. A manutenção de ambientes secos e a utilização de materiais impermeáveis são estratégias eficazes para mitigar esse risco [34].

A adoção de materiais como o polietileno reticulado (XLPE) tem se mostrado promissora devido às suas propriedades dielétricas superiores. No entanto, é importante monitorar a suscetibilidade desses materiais às DP's, implementando técnicas de diagnóstico adequadas [35].

Além do monitoramento contínuo, testes periódicos são uma alternativa para verificar as mudanças nas tendências das DP's em cabos. Uma estratégia de manutenção apresentada por [36] inclui a presença de monitoramento permanente, testes periódicos online e um plano de manutenção após a análise dos testes realizados. Empresas que adotaram essa abordagem têm conseguido reduzir significativamente os custos operacionais e melhorar a confiabilidade do sistema. Por exemplo, a análise contínua das DP's em sistemas de distribuição de energia tem permitido identificar segmentos de cabos que apresentam tendência a falhas, possibilitando que ações corretivas sejam tomadas antes que as falhas se tornem críticas, evitando assim danos maiores e longos períodos de inatividade [33].

Além dessas estratégias, o desenvolvimento de tecnologias avançadas, como sensores de alta sensibilidade e sistemas de monitoramento em tempo real, tem contribuído para uma análise mais precisa e detalhada das DP's. A integração desses sistemas com técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina também está emergindo como uma tendência importante, permitindo a detecção de padrões e a previsão da evolução das falhas com maior precisão [37]. A combinação dessas abordagens oferece uma solução robusta para o gerenciamento da integridade dos cabos, tornando o sistema mais resiliente e eficiente..

VII. CONCLUSÃO

A análise de descargas parciais tem se consolidado como uma técnica fundamental para o diagnóstico da integridade de cabos isolados, possibilitando a identificação antecipada de falhas no isolamento. No entanto, sua aplicação exige uma abordagem criteriosa, que leve em consideração as características dos sistemas elétricos, os métodos de medição disponíveis e as condições operacionais. A revisão realizada evidencia que tanto as medições *online* quanto *offline* apresentam benefícios e limitações, sendo a escolha da metodologia dependente do contexto e dos objetivos da manutenção. Além disso, a correta interpretação dos dados de DP's é essencial para evitar diagnósticos imprecisos. Assim, a implementação de estratégias eficazes de monitoramento e análise pode contribuir significativamente para a confiabilidade e longevidade dos cabos isolados, reduzindo riscos e custos operacionais. Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, que viabilizou a realização deste trabalho.

REFERENCES

- [1] EBC. Consumo de energia deverá crescer, em média, 2,1% ao ano nos próximos dez anos, mostra projeção. Agência Brasil, 2024. Disponível em: https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202410/consumo-de-energia-devera-crescer-em-media-2-1-ao-ano-nos-proximos-dez-anos-mostra-projecao?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 12 fev. 2025.
- [2] ELETRON ENERGY. Expansão de data centers impulsiona aumento na demanda por energia elétrica no Brasil. *Eletron Energy*, 2024. Disponível em: https://eletronenergy.com.br/blog/expansao-de-data-centers-impulsiona-aumento-na-demanda-por-energia-eletrica-no-brasil/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 12 fev. 2025.
- [3] NEMATİ, Hassan M.; SANT'ANNA, Anita; NOWACZYK, Sławomir; JÜRGENSEN, Jan Henning; HILBER, Patrik. Reliability evaluation of power cables considering the restoration characteristic. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 105, p. 622-631, 2019. ISSN 0142-0615. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.08.047>
- [4] Kemari, Youcef & Belijar, Guillaume & Valdez - Nava, Zarel & Forget, Frederic & Diaham, Sombel. (2023). Review on High - Temperature Polymers for Cable Insulation: State-of-the-Art and Future Developments. 10.1002/9783527841059.ch4.
- [5] STONE, G. C. Partial discharge and electrical equipment insulation condition assessment. *Dielectrics and Electrical Insulation*, IEEE Transactions on, v. 12, p. 891-904, 2005. DOI: 10.1109/TDEI.2005.1522184.
- [6] B.Biswas, & Du, Boxue & Florkowski, Marek & Hammarstrom, Thomas & Judd, Martin & W.Koltunowicz, & B.Kordi, & Kuniewski, Maciej & G.Ma, & Pan, Cheng & Park, Chanyeop & Pradhan, Arpan & L.Satish, & G.Stone,. (2024). Trends in Diagnostics and Monitoring of High-Voltage Insulation. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. 40. 10.1109/MEI.2024.10568085.
- [7] BARTNIKAS, R. Partial discharges. Their mechanism, detection and measurement. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, v. 9, n. 5, p. 763-808, out. 2002. DOI: 10.1109/TDEI.2002.1038663.
- [8] G. Paoletti and A. Golubev, "Partial discharge theory and applications to electrical systems," Conference Record of 1999 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference (Cat. No.99CH36338), Seattle, WA, USA, 1999, pp. 124-138, doi: 10.1109/PAPCON.1999.779355.
- [9] SHAHSHAVARIAN, T. et al. A Review of Knowledge-Based Defect Identification via PRPD Patterns in High Voltage Apparatus. *IEEE Access*, v. 9, p. 77705-77728, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3082858.
- [10] WANG, Y.; WANG, Z.; ZENG, Z.; FEI, R.; SHANG, J. Effect of Aging Degree on Partial Discharge Degradation of Oil-paper Insulation. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, v. 28, n. 6, p. 2099-2107, dez. 2021. DOI: 10.1109/TDEI.2021.009611.
- [11] MEDOUKALI, Hemza; ZEGNINI, Boubakeur. O impacto do layout e da concentração de defeitos nas restrições eletromecânicas no isolamento de cabos de MT. *Diagnostyka*, v. 24, 2023.
- [12] Park, Hee-Doo & Kim, Joung-Sik & Jeong, In-Bum & Choi, Kwang-Jin & Ryu, Boo-Hyung & Hong, Jin-Woong. (2009). Defect diagnosis of the cable insulating materials by partial discharge statistical analysis. *Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*. 10.1109/ICPADM.2009.5252426.
- [13] Shahsavarian T., Pan Y., Zhang Z., Pan C., Naderiallaf H., Guo J., Li C., Cao Y.A review of knowledge-based defect identification via PRPD patterns in high voltage apparatus. *IEEE Access*, 9 (2021), pp. 77705-77728
- [14] CHOUDHARY, Maninder; SHAFIQ, Muhammad; KIITAM, Ivar; PALU, Ivo; HASSAN, Waqar; SINGH, Praveen Prakash. Investigation of partial discharge characteristics in XLPE cable insulation under increasing electrical stress. *Engineering Failure Analysis*, v. 158, 108006, 2024. ISSN 1350-6307.
- [15] A. Eigner and K. Rethmeier, "An overview on the current status of partial discharge measurements on AC high voltage cable accessories," in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 32, no. 2, pp. 48-55, March-April 2016, doi: 10.1109/MEI.2016.7414231.
- [16] RAMHARACK, Shankar; BAHADOORSINGH, Sanjay. Connecting the Dots: A Comprehensive Literature Review on Low and Medium-Voltage Cables, Fault Types, and Digital Signal Processing Techniques for Fault Location. *arXiv preprint arXiv:2307.00455*, 2023.
- [17]] N. Adhikari and U. Kumar Kalla, "Analysis of Partial Discharge Measurements in High Voltage XLPE Cable," 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON), Sonapat, India, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/PIICON49524.2020.9113016
- [18] VALENTE, Samuel da Silva. Estudo das técnicas de detecção de avarias em equipamentos elétricos por recurso à medição de descargas parciais. 2019. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) — Universidade do Porto, Porto, 2019.
- [19] T. Shahsavarian et al., "A Review of Knowledge-Based Defect Identification via PRPD Patterns in High Voltage Apparatus," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 77705-77728, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3082858.
- [20] Silva, Allan & Carvalho, Itaiara & Nobrega, Luiz & Xavier, George & Costa, Edson. (2021). Avaliação de Técnicas de Inteligência Artificial na Classificação de Descargas Parciais
- [21] ABREU, Samuel Ribeiro de. Avaliação da transformada de Hilbert-Huang na detecção de desvios vocais. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.
- [22] MACÊDO, Euler Cássio Tavares de. Metodologia Para a Classificação De Descargas Parciais Utilizando Redes Neurais Artificiais. 2014.

- [23] Park, Hee-Doo & Kim, Joung-Sik & Jeong, In-Bum & Choi, Kwang-Jin & Ryu, Boo-Hyung & Hong, Jin-Woong. (2009). Defect diagnosis of the cable insulating materials by partial discharge statistical analysis. Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. 10.1109/ICPADM.2009.5252426.
- [24] Suganya Govindarajan, Adolfo Morales, Jorge Alfredo Ardila-Rey, Narasimman Purushothaman, A review on partial discharge diagnosis in cables: Theory, techniques, and trends, Measurement, Volume 216, 2023, 112882, ISSN 0263-2241.
- [25] Wu J., Mor A., Nes P., Smit J. Measuring method for partial discharges in a high voltage cable system subjected to impulse and superimposed voltage under laboratory conditions. Int. J. Electr. Power Energy Syst., 115 (2020), pp. 105489-105501.
- [26] B. Lanz, D. Byrne e M. Spalding, "Affordable Cable System Reliability and Life Extension Strategy", 2016 IEEE Rural Electric Power Conference (REPC), Westminster, CO, EUA, 2016, pp. 50-56, doi: 10.1109/REPC.2016.16.
- [27] Fikri, M., Abdul-Malek, Z. Partial discharge diagnosis and remaining useful lifetime in XLPE extruded power cables under DC voltage: a review. *Electr Eng* **105**, 4195-4212 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00202-023-01935-y>
- [28] N. Dao, P. Lewin, S. Swingler, Effects of Lightning Impulses on the Dielectric Properties of HDPE, in: International Electrical Insulation Conference, 2009, pp. 260-264.
- [29] ARNOLD, P.; KMENT, A.; PÍPA, M.; JANÍČEK, F. 'Onsite partial discharges measurement of XLPE cables', IEEE Transaction on Electrical Engineering, Vol 1 (2012), No. 4.
- [30] ARNOLD, Peter; KMENT, Attila; PÍPA, Marek; JANÍČEK, František. On-site partial discharges measurement of XLPE cables. Transactions on Electrical Engineering, v. 1, n. 4, p. 107, 2012.
- [31] NETA WORLD JOURNAL. Practical non-invasive partial discharge cable testing. 2025. Disponível em: <https://netaworldjournal.org/practical-non-invasive-partial-discharge-cable-testing/>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- [32] VERTIV. Partial discharge testing for cables. Disponível em: <https://www.vertiv.com/en-ca/services-catalog/services/performance-optimization-services/partial-discharge-testing-for-cables/>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- [33] O SETOR ELÉTRICO. Fascículo Capítulo IX - Redes subterrâneas. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/10/ed-92_Fasciculo_Cap-IX-Redes-subterraneas.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 15 fev. 2025.
- [34] OLIVEIRA, Raíssa Lima de. Manutenção preventiva em cabos isolados de média tensão. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022. Orientador: Jorge Nemésio Sousa.
- [35] RIBEIRO, Guilherme Fernandes. *Contribuições à avaliação da degradação da isolação de cabos por meio da análise de descargas parciais*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.
- [36] Grossi, A.; Lana, G.; Lima, D.; Okumtoto, P. (2014). Diagnóstico em Cabos de Média Tensão Utilizando o Método de Descargas Parciais. Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte, MG, Set. 2014, pp. 2862-2866
- [37] Ribeiro, Guilherme & de Paula, Helder & Pinheiro, Alan. (2021). Uma Discussão sobre a Análise de Descargas Parciais para o Prognóstico de Falhas de Cabos Isolados e Gerenciamento de Ativos. 1504-1510. 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529540