

<http://dx.doi.org/10.48005/2237-3713rta2021v10n3p6272>

A influência dos acessórios e conectores nos resultados de ensaios de descargas parciais em cabos isolados de média tensão, segundo a IEC 60502-1: 2004*

Accessories and connectors influence on partial discharges tests results on medium voltage insulated cables, according to IEC 60502-1: 2004

Ariane Corrêa Souza

Universidade Federal Fluminense - UFF
ariane_2121@hotmail.com

Eduardo Henrique Medeiros Silva

Universidade Federal Fluminense - UFF
ehmsilva.33@gmail.com

Lucas Gappo Ferreira Silva

Universidade Federal Fluminense - UFF
lucas_gappo@id.uff.br

Marcio Zamboti Fortes

Universidade Federal Fluminense - UFF
mzamboti@id.uff.br

Vitor Hugo Ferreira

Universidade Federal Fluminense - UFF
vhferreira@id.uff.br

RESUMO ESTRUTURADO

Os cabos com cobertura isolante são hoje indissociáveis dos sistemas de distribuição de energia elétrica de média tensão. Dito isso, realizar de forma adequada o comissionamento e a avaliação do isolamento, e de seus acessórios conectáveis, segundo os preceitos da normatização vigente, se tornam atividades essenciais, de forma a garantir a qualidade do material. Este artigo tem por objetivo evidenciar a influência dos componentes, como acessórios e conectores, nos resultados de ensaio de descargas parciais. Para isso foram utilizados dois modelos distintos de cabos com cobertura isolante em XLPE, cada um composto de 10 amostras. Todas foram previamente reprovadas nos ensaios normativos para descargas parciais, sendo então retrabalhados e submetidos a novos ensaios. Os dados obtidos após o retrabalho foram então utilizados para evidenciar o impacto causado pelo manuseio, armazenamento e instalação adequados demonstrando que os elementos acessórios devem ser corretamente instalados evitando reprovações desnecessárias do produto.

Palavras-chave: Dielétricos, Descargas Parciais, Isolamento de Cabos, Teste de Isolamento, Qualidade de Energia.

STRUCTURED ABSTRACT

Nowadays, insulated cables are inseparable from the medium voltage distribution grid. That said, adequate commissioning and evaluation of insulation and pluggable accessories,

* Received 18 July 2021; accepted in 31 March 2022; published online 13 April 2022.

according to the current standard, become essential activities, guaranteeing its quality. This paper has as the main objective, point the components influence, as accessories and connectors, in partial discharges tests results. For this, two distinct cable models were used, both with XLPE insulation and composed of 10 samples. All of them were previously reproved on standard partial discharges test, being then reworked, and subjected to new tests. The data obtained after rework were then used to evidence the impact caused by proper handling, storage, and installation demonstrating that the accessory elements should be properly installed avoiding unnecessary product distastes.

Keywords: Dielectrics, Partial Discharges, Cable Insulation, Insulation Tests, Power Quality.

1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores importantes a serem analisados nos projetos elétricos são as ocorrências de descargas parciais (DP) nos sistemas implantados. A complexa montagem envolvendo conexões e acessórios permite falhas que configuram DP em sua concepção. Segundo Wu e outros (2020), a possibilidade de medir as DPs, permite acompanhar defeitos decorrentes da falha de isolamento nos cabos, juntas e terminações. Portanto, as medições e observações tornam-se ferramentas ideais para definir condições apropriadas de isolamento, considerando suas aplicações em laboratório e nos locais de montagem (Wu et. al, 2020).

Quando se trata de redes de transmissão, direcionam-se as concepções para o intemperismo sofrido pelo sistema. Conforme Shafiq e outros (2019) devido à exposição natural das redes de transmissão, elas estão expostas aos estresses operacionais e ambientais, tornando possível que empresas busquem soluções que aumentem a confiabilidade dos componentes para continuidade do fornecimento de energia.

O estudo de (Shafiq et. al, 2019), define ainda transformadores de potência e cabos de média tensão (MT) como dispositivos primordiais na rede de distribuição. Segundo estes autores, as operações mecânicas de comutação, são realizadas entre os contatos do sistema e dos transformadores de potência, enquanto os cabos de energia não envolvem elementos móveis. Nesse ponto de vista (Shafiq et. al, 2019), é dito que os cabos são componentes de operação estática e as tensões, correntes, campos eletrostáticos e eletromagnéticos, relacionam-se com os condutores e sistemas de isolamento.

Uma alternativa para distribuição de energia é o sistema subterrâneo, cada vez mais sendo implantado nos projetos e, com essa analogia, torna-se cada vez mais relevante as pesquisas sobre isolamentos do conjunto montado incluindo os cabos, acessórios e conectores. Wu e outros observaram conforme reportado em (Wu et. al, 2020), que desde 2006, 57% dos cabos utilizados são constituídos por XLPE (polietileno reticulado) e 70% de todos os acessórios em operação são do tipo extrudado. Suas observações demonstraram que a utilização dos cabos extrudado são requisitadas devido à maior eficiência pela constante dielétrica mais baixa, temperatura operativa mais alta e processo fabril acessível.

Através das investigações de falhas em cabos operantes em (Wu et. al, 2020), concluiu-se que 69% dos problemas de isolamento se apresentaram nos acessórios dos cabos. Ainda nesta pesquisa dispõe-se que, 74% das falhas apresentadas no espaço amostral de 170 indivíduos, foram devidas a defeitos de instalação.

Segundo a Norma IEC 60502-1: 2004 (IEC, 2004) os limites para aceitação de cabos submetidos aos ensaios de DPs são de 10 pC para ensaios elétricos de rotina. A proposta desse artigo é apresentar uma análise investigativa das falhas nos procedimentos de montagem dos dispositivos, tornando possível as práticas operacionais para evitar reprovações nos pontos limítrofes da referência normativa.

Este artigo está dividido em cinco partes, sendo esta primeira introdutória ao tema. A segunda parte trata da revisão teórica acerca dos meios isolantes, DPs e a importância de se considerar os acessórios e conectores aos ensaios de DPs. A terceira parte apresenta a metodologia utilizada para os ensaios de DPs realizados. A quarta parte apresenta os resultados obtidos nos ensaios propostos, bem como a sua análise crítica. A quinta e última parte apresenta as devidas conclusões do artigo, baseadas nos resultados obtidos.

2. REVISÃO TEÓRICA

Para basear o estudo em DPs, faz-se importante a compreensão dos conceitos básicos de meios isolantes as possíveis falhas passíveis de ocorrência em cada um desses meios, levando por fim à discussão sobre isolamento de cabos de energia, bem como ao fenômeno de DPs, foco do presente artigo.

Os tipos de isolamento podem ser resumidos de acordo com o meio, sendo eles líquidos, gasosos e sólidos. No caso dos cabos de energia, dois deles são abordados. Para os cabos sem cobertura isolante, o meio utilizado para realizar o isolamento do equipamento é o próprio ar, sendo este um meio gasoso. No caso dos cabos com cobertura isolante, o meio possui característica sólida, sendo essa cobertura composta, por exemplo, por ligas plásticas.

Ambos os meios isolantes estão sujeitos a falhas, que ocorrem quando um campo elétrico é imposto sobre um corpo, e sua densidade ultrapassa o limite de suportabilidade do meio isolante, a rigidez dielétrica (Kuffel et al, 2000). A rigidez dielétrica é um dos requisitos-chaves nos equipamentos elétricos uma vez que ela é responsável por definir qual é a concentração de campo elétrico máximo que o material pode suportar sem que haja alteração em suas propriedades, o seu estudo é aprofundado em pesquisa como em (Anderson, et. al, 2015).

No que diz respeito aos tipos de falhas, estas podem ser divididas em dois grupos. O primeiro englobando as falhas plenas. Tais falhas tem intensidade o suficiente para causar dano severo ao meio condutor, podendo inclusive levar à sua destruição por meio do rompimento mecânico. O segundo grupo engloba as falhas parciais, dentre elas podendo ser citadas as DPs, um dos objetos de estudo deste trabalho.

Devido à ampla exploração da temática envolvendo ocorrência de falhas em cabos sem cobertura isolante, tal assunto será abordado de forma sucinta. A consideração principal a ser feita dada a circunstância do uso de cabos nus, é com relação ao meio isolante. No caso de cabos utilizados em redes de distribuição e transmissão de energia, o próprio ar atmosférico é o isolante, sendo considerado um material de boa qualidade de isolamento e caracterizando um meio auto regenerativo, retomando suas características iniciais após a ocorrência das referidas falhas.

De maneira distinta, os meios isolantes sólidos não possuem a característica de auto regeneração, uma vez que dada a ocorrência de uma falha de isolamento, a constituição do corpo é alterada, resultando na alteração da sua capacidade de isolamento. Por serem dielétricos sólidos, a determinação das causas de falhas e interrupções em isolamentos sólidos de cabos de energia é considerada uma tarefa complexa (O'dwyer, 1982).

Contudo, devido à sua elevada capacidade isolante quando em comparação ao ar, os meios isolantes sólidos estão suscetíveis majoritariamente aos impulsos de tensão. Tais impulsos podem ter origem devido a manobras realizadas no sistema interligado de transmissão e/ou distribuição, ou por descargas atmosféricas. Ambas as causas resultam em fenômenos de acúmulo de cargas e a possível ocorrência de DPs (Gomes, 2015).

2.1 DESCARGAS PARCIAIS

As DPs são os fenômenos decorrentes da aplicação de tensões impulsivas a cabos com cobertura isolante. Eles se dão devido ao acúmulo de carga ocasionado pelos elevados níveis de tensão impulsiva.

O acúmulo de cargas ocasiona a distorção do campo elétrico na superfície do cabo, levando então ao rompimento do meio dielétrico, nesse caso sendo o material isolante ao redor do corpo.

Ocorrem então as DPs, eventos que formam contato elétrico momentâneo entre partes vivas e partes aterradas do sistema de distribuição.

A depender da duração e da intensidade da descarga, bem como do comprimento do condutor empregado, as descargas podem se manter após a remoção das tensões impulsivas, apenas com a influência da tensão de operação do sistema. Tais ocorrências podem levar às disrupções físicas do material isolante, comprometendo com isso a eficiência do sistema, reduzindo a vida útil dos equipamentos associados, bem como levando à falha de operação dos trechos afetados pelas falhas disruptivas (Gomes, 2015).

2.2 ACESSÓRIOS E CONECTORES

Os acessórios e conectores são partes essenciais na constituição de sistemas de distribuição de energia elétrica. Contudo, são pontos passíveis da ocorrência de falhas de instalação, envolvendo ou não o fator humano, podendo levar à ocorrência das DPs (Batalović, et. al, 2019).

A importância de se levar em consideração tais componentes nos ensaios para comissionamento de cabos, se dá em função da montagem inadequada e/ou existência de impurezas nas conexões (Wu et. al, 2020).

Uma vez instalados de maneira incorreta ou sem a adequada limpeza, os conectores e acessórios utilizados podem ser os responsáveis pela existência de DPs além dos limites toleráveis do ponto de vista normativo.

Devido aos efeitos negativos, e à necessidade de se tomar o cenário ideal para comissionamento de cabos, deve-se incluir tais acessórios à avaliação no processo de ensaio, sendo possível destacar sua contribuição e se necessário descartá-la, garantindo a confiabilidade nos resultados experimentais.

3. METODOLOGIA DE ENSAIO

O objetivo desta seção é descrever a metodologia utilizada nos ensaios de cabos de média tensão, considerando casos distintos com apenas o cabo, e com a inclusão das terminações. Serão descritos os ensaios de rotina e comissionamento baseados ABNT NBR 7286:2015, ABNT NBR 7287:2019 e IEC 60502-2:2014, englobando assim os acessórios utilizados nos mesmos.

O cabo de energia é o principal elemento de um circuito (Cobrecem, 2018), no entanto, se faz necessário que os acessórios atendam as especificações necessárias (IEC, 2004) para garantir assim o adequado desempenho durante toda a vida útil do circuito bem como evitar desligamento e/ou desligamentos inesperados.

3.1 ENSAIOS ELÉTRICOS DE ROTINA.

São ensaios realizados pelo fabricante do produto, seja ele o cabo, os acessórios, emendas e/ou o conjunto do circuito completo que engloba todo o sistema. Neste ensaio, o fabricante atesta que cada comprimento fornecido atende aos requisitos especificados para as condições ambientais, sistêmicas e elétricas do local da instalação (Teixeira Junior, 2004).

Neste conjunto estão os ensaios de resistência de isolamento, resistência elétrica, dimensionais, DPs, entre outros, sendo este último objeto do atual estudo.

3.2 MÉTODO DE ENSAIO.

Para realização do ensaio se faz necessário o uso de: uma fonte de alta tensão alternada cuja capacidade será definida de acordo com a classe de tensão da amostra submetida ao ensaio; um dispositivo medidor de tensão elétrica aplicada no corpo de prova; um dispositivo para medir a intensidade das DPs (ABNT, 2010). O dispositivo utilizado para medir DPs é um calibrador de descargas. De acordo com a ABNT NBR 6490: 2008 (ABNT, 2008), DPs no objeto ensaiado causam transferências de carga no circuito de ensaio, dando impulso de corrente através das garras de medição. Esta combinação junto do capacitor de acoplamento determina a duração e a forma de pulsos de tensões medidos.

No procedimento de ensaio, a tensão alternada deve ser aplicada entre condutor e blindagem e deve ser acrescida gradualmente até atingir a tensão de exploração e permanecer nesta tensão por não mais de 1 minuto. Vale ressaltar que a tensão de exploração é baseada por norma mediante a classe de tensão do cabo. A tensão de ensaio deve ser, então, diminuída gradualmente até atingir a tensão de medição especificada e a intensidade de descarga medida (IEC, 2004). As tensões de medição e de exploração estão indicadas nas normas válidas para cada tipo de material (ABNT, 2008). Vale ressaltar que as exigências normativas brasileiras (ABNT, 2016; ABNT, 2019) limitam o nível de descarga parcial a 3 pC, enquanto as normas estrangeiras (IEC, 2004; IEC, 2015) adotam o limite de 10 pC.

3.3 DESCARGAS PARCIAIS EM CABOS COM ACESSÓRIOS.

A metodologia utilizada para ensaiar os cabos junto aos acessórios é similar. No entanto, o risco de ter-se DPs aumenta, pois serão submetidos a ensaio os cabos e os acessórios. Dessa forma, há maior probabilidade de haver contaminantes entre os corpos de prova, o que aumenta o risco de DPs. Considera-se para isso um cabo conectorizado em uma das extremidades, sendo a outra aterrada, conforme recomenda a norma (IEC, 2004). A tensão alternada é aplicada entre o condutor e a blindagem, e no caso do acessório, há a necessidade da conexão dos cabos de blindagem para a realização do ensaio, conforme Figura 1.

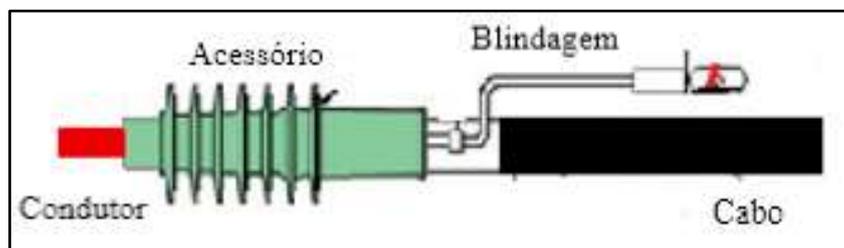


Figura 1 - Conjunto submetido ao ensaio de descargas parciais. Fonte: Autoria Própria (2021).

No geral, os acessórios são inseridos sobre a isolamento do cabo, seja ela XLPE ou HEPR (borracha etileno-propileno), mediante as propriedades isolantes desses materiais. Qualquer impureza, perfuração, dano nessa região aumenta os riscos de DPs e/ou degradação do circuito. Por isso, os acessórios têm grande influência antes e durante a energização do circuito (Teixeira Junior, 2004).

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Como base de estudos, será utilizado um conjunto de 10 cabos tripolares, sendo este o Modelo 1, e um conjunto de 10 cabos monopolares, caracterizando o Modelo 2, sendo estes conectorizados e que apresentaram em testes iniciais DPs superiores a 10 pC (IEC, 2004) e portanto considerados não adequados. Todos os itens foram retrabalhados nos acessórios e submetidos novamente ao ensaio de rotina. Feito isso, serão apresentados os dados quantitativos referentes aos conjuntos ensaiados por ocorrência de descargas parciais.

Ambos os modelos utilizados tiveram todas as suas amostras reprovadas inicialmente, devido à apresentação de falhas em função da ocorrência de DPs. De forma a exemplificar o efeito prático da ocorrência de falhas por DPs, são apresentadas as Figuras 2, 3 e 4.

Na Figura 2, tem-se a foto de um dos cabos monopolares ensaiados. Na Figura 3, é apresentada a falha de isolamento externo. Na Figura 4, um corte transversal da camada isolante é apresentado, sendo possível verificar a ocorrência de um evento de DP através do dano aparente.



Figura 2 - Cabo monopolar reprovado no ensaio de DPs. (Fonte: Foto Autoral)



Figura 3 - Camada externa danificada do cabo monopolar. (Fonte: Foto Autoral)

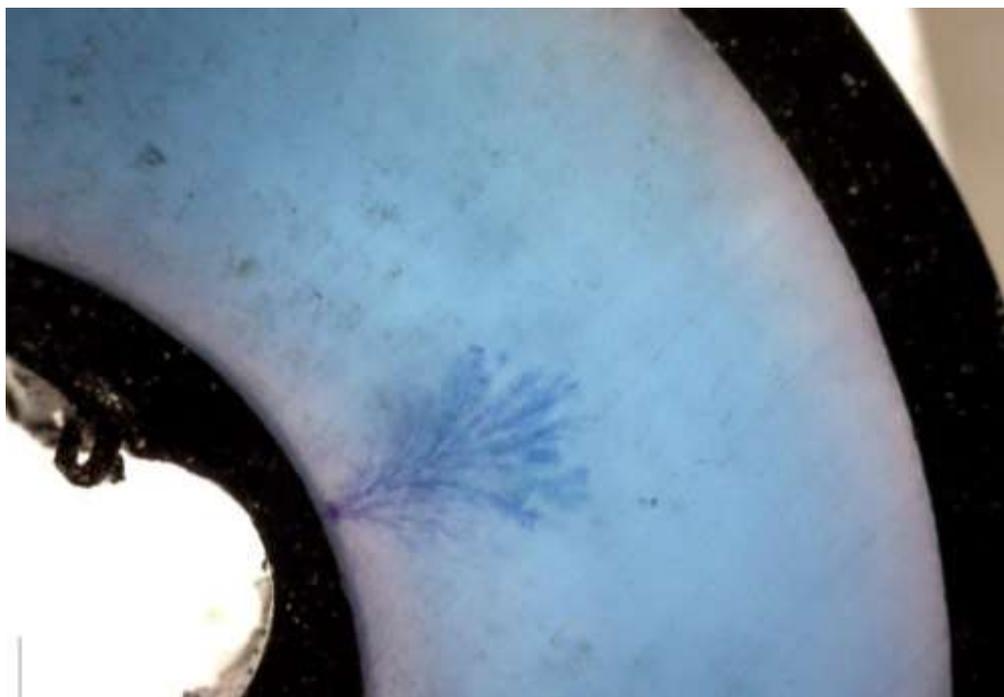


Fig. 4. Corte transversal da camada isolante.

Os tipos de retrabalho aplicados aos cabos escolhidos para reanálise foram:

- Higienização dos terminais;
- Utilização de solvente e álcool isopropílico para limpar os acessórios bem como a isolação do cabo onde foi inserido o terminal;
- Aperto nos conectores;
- Ajustes nas muflas de conexão;

- Utilização de silicone compatível com as propriedades isolantes para minimizar o atrito entre os corpos de prova;
- Troca de ferramental utilizado no processo;
- Limpeza nas garras de conexão entre o condutor e a blindagem;
- Lixamento da isolação na região onde o terminal é inserido, a fim de eliminar qualquer rebarba sobressalente no processo;

Vale ressaltar que todos esses ajustes foram realizados dentro do laboratório com condições ambientais controladas para diminuir a possibilidade de contaminação através de impurezas.

As tensões e descargas foram medidas e aplicadas nas três fases dos cabos tripolares ensaiados. Além disso, os valores de tensão aplicados são de acordo com as especificações aplicáveis de cada cabo. Após os retrabalhos, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela I e na Tabela II, sendo a separação feita através da análise de conformidade, entre os modelos 1 e 2, com base no valor máximo de DPs detectado para cada amostra.

TABELA I. RESULTADOS EXPERIMENTAIS PARA CABOS TRIPOLARES

MODELO - AMOSTRA	DP MÁXIMA (pC)	CONFORMIDADE
1 – 1	2,5	APROVADO
1 – 2	2,9	APROVADO
1 – 3	2,7	APROVADO
1 – 4	3,5	APROVADO
1 – 5	1,9	APROVADO
1 – 6	32,8	REPROVADO
1 – 7	3,1	APROVADO
1 – 8	2,4	APROVADO
1 – 9	3,3	APROVADO
1 – 10	35,9	REPROVADO

TABELA II. RESULTADOS EXPERIMENTAIS PARA CABOS MONOPOLARES

MODELO - AMOSTRA	DP MÁXIMA (pC)	CONFORMIDADE
2 – 1	1,1	APROVADO
2 – 2	1,6	APROVADO
2 – 3	1,8	APROVADO
2 – 4	2,2	APROVADO
2 – 5	1,9	APROVADO
2 – 6	1,6	APROVADO
2 – 7	2,1	APROVADO
2 – 8	40,8	REPROVADO
2 – 9	2,3	APROVADO
2 – 10	1,6	APROVADO

De acordo com o quantitativo apresentado, nota-se que dos 20 corpos de prova, após retrabalho, 17 deles foram aprovados nos testes. Isto é, 85% dos cabos que seriam descartados por apresentarem DPs puderam ser aproveitados após retrabalho. Os 15% que continuaram apresentando descarga foram reavaliados e realizados ensaios de comissionamento. Durante ensaio dimensional notou-se que a construção do cabo estava divergente da especificação aplicável (ABNT, 2019). Dessa forma, garantiu-se que o mal desempenho no ensaio de DPs estivesse atrelado ao processo construtivo e não à conectorização.

5. CONCLUSÕES

Através de experimentos feitos com os cabos junto aos acessórios notou-se que a conectorização possui grande influência nas DPs encontradas nos cabos de energia. Considerando os 20 conjuntos analisados, na tabela 1, pode-se atestar que após retrabalho, 15% dos corpos de prova apresentam efetivamente danos em sua fabricação, enquanto 85% foram aprovados realizando os retrabalhos nos desconectáveis. Embora o objeto central das instalações elétricas sejam os cabos de energia (Teixeira Junior, 2004), foi percebido que a ausência de uma adequada inserção dos desconectáveis pode ser responsável pela presença de DPs nos circuitos e conseqüentemente reprovação. Vale ressaltar que muitos fornecedores optam por não incluírem os acessórios junto à aquisição do cabo de energia. Contudo para o usuário isso é de suma importância, visto que após submetido aos ensaios de rotina, atesta-se o desempenho e elimina-se a possibilidade de descargas parciais no cabo conectorizado ao ser instalado em campo.

Apesar do artigo ser baseado na normatização internacional (IEC, 2004) cuja especificação é 10 pC, analisando os dados obtidos, percebe-se que o retrabalho corroborou para diminuição do nível de descarga parcial ao passo que os corpos de prova também seriam aprovados pelas especificações brasileiras (ABNT, 2016; ABNT, 2019) que determina o valor

máximo para nível de descarga parcial 3 pC. Evidencia-se ainda que ambas as normas estão baseadas na classe de tensão dos corpos de prova (20/35 kV) estudados nesse artigo.

Entende-se também que aquelas instalações feitas com cabos sem conectorização do fabricante, possuem maior risco de avaria no comissionamento ou em energização ao curto prazo. Isso se deve em especial a possíveis falhas no procedimento de montagem, sendo este de extrema importância para garantir o perfeito funcionamento do sistema de energia.

REFERÊNCIAS

Wu J., MOR A.R., SMIT J.J., “Partial discharges activated by impulses and superimposed voltages in a high voltage cable model” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 120,2020.

SHAFIQ M., KAUHANIEMI K., ROBLES G., ISA M., KUPULAINEN L., “Online condition monitoring of MV cable feeders using Rogowski coil sensors for PD measurements, *Electric Power Systems Research*”, volume 167, 2019.

IEC 60502-1, “Power Cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1kV ($U_m = 1,2kV$) up to 30kV ($U_m = 36kV$) – Part 1: Cables for rated voltages of 1kV ($U_m = 1,2kV$) and 3kV ($U_m = 3,6kV$)”, *International Electrotechnical Commission*, 2004.

KUFFEL J., KUFFEL P., “High Voltage Engineering – Fundamentals”, 2nd Ed. Butterworth – Heinemann, Oxford, 2000.

ANDERSON M., JARVID M., JOHANSSON A., GUBANCKI S., FOREMAN J., C. Müller, “Dielectric strength of γ -radiation cross-linked, high vinyl-content polyethylene”, *European Polymer Journal*, volume 64,2015.

PHLOYMUK N., PRUKSANUBAL A., TANTHANUCH N., “DC tensão de ruptura de barreira dielétrica sólida sob campo elétrico não uniforme”, *Relatório Anual Conferência sobre Isolamento Elétrico e Fenômenos Dielétricos*, 2013.

GOMES R, “Estudo do comportamento de cabos com cobertura isolante de redes de distribuição compactas frente a sobretensões impulsivas padronizadas”, *Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica*, 2015.

BATALOVIĆ M., “Investigation on Partial Discharge Activity inside the Cable Accessories due to Improper Installation of Power Cable Joints”, *Conference Eurocon 2019*.

COBRECUM, “cabos de energia. Cobrecom”, 14 out. 2018. Disponível em: <<http://www.cobrecom.com.br/cobrecom/cabos-aplicacao-fotovoltaica/cabo-solarcom-40000mm2-06-1kv-ca-ou-18kv-cc/>>.

TEIXEIRA Jr. M. D. R., “Cabos de energia”, 1ª Ed., Artliber, 2004.

ABNT NBR 7294, “Fios e cabos elétricos – Ensaio de Descargas Parciais”, *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, 2010.

ABNT NBR 6490, Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – medição de descargas parciais, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ABNT NBR 7286, “Cabos de potência com isolamento extrudada de borracha etilenopropileno (EPR, HEPR ou EPR 105) para tensões de 1 kV a 35 kV — Requisitos de desempenho”, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.

ABNT NBR 7287, “Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho”, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

IEC 60885-3, “Electrical test methods for electric cables - Part 3: Test methods for partial discharge measurements on lengths of extruded power cables”, International Electrotechnical Commission, 2015.