



BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCOS VINICIUS PAZETTO WOLLMANN

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO
DISPONÍVEIS NO MERCADO VAREJISTA DA CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS**

Porto Alegre

Junho, 2023

MARCOS VINICIUS PAZETTO WOLLMANN

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO
DISPONÍVEIS NO MERCADO VAREJISTA DA CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Ritter dos Reis, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Felipe Serafini

Porto Alegre

Junho, 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, José Antônio Colvara Oliveira, que infelizmente nos deixou, e Felipe Serafini; pela orientação, apoio e valiosas sugestões durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Seu conhecimento e comprometimento foram essenciais.

Aos meus pais, Vera Lúcia Pazetto e Carlos Alberto Wollmann, que infelizmente não está mais aqui fisicamente, mas nas nossas memórias e em nossos corações. Sou grato por estarem sempre ao meu lado ao longo dessa jornada acadêmica, me apoiando, compreendendo minha ausência em alguns momentos e me incentivando a seguir em frente. Seu amor, compreensão e encorajamento foram inestimáveis.

Aos meus amigos, Andrei Becker, Lucca Paim, Pedro Rocha, Marcelo Ruwer, Rafael Fernandes que estiveram junto comigo nesses anos de faculdade, um agradecimento especial á vocês pela amizade e parceria.

Por fim, agradeço à UniRitter, por fornecer a estrutura, recursos e oportunidades necessárias para a realização deste trabalho. Sou grato a todos os professores, funcionários e colaboradores que tornaram possível a minha formação acadêmica.

A todos os mencionados e aqueles que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, expresso minha profunda gratidão. Seu apoio foi fundamental para o meu sucesso nesta etapa da minha jornada.

Que este trabalho possa contribuir para o avanço do conhecimento nesta área e inspirar futuras pesquisas.

Muito obrigado a todos!

Atenciosamente,

Marcos Vinicius Pazetto Wollmann

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade de fios elétricos utilizados em instalações elétricas residenciais. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as normas técnicas e regulamentações que regem a produção e uso de fios elétricos, bem como as características técnicas que influenciam na qualidade dos mesmos e as técnicas de teste e inspeção utilizadas para avaliar sua qualidade.

Além disso, foram realizados testes em condutores elétricos de diferentes marcas, utilizando equipamentos de medição para avaliar sua resistência elétrica, massa, volume e isolamento. Os resultados obtidos indicaram que os fios elétricos testados apresentaram diferenças significativas em relação à qualidade, sendo que alguns apresentaram valores fora dos limites estabelecidos pelas normas técnicas.

A escolha e utilização de fios elétricos de qualidade adequada é fundamental para garantir a segurança e eficiência das instalações elétricas, e que a realização de testes e inspeções periódicas pode contribuir para a detecção de falhas e prevenção de acidentes. A pesquisa apresentada neste trabalho contribui para a melhoria da qualidade das instalações elétricas, reduzindo os riscos de acidentes e prejuízos materiais, e proporcionando um ambiente mais seguro e confiável para o uso da eletricidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração de um fio rígido.....	21
Figura 2 - Ilustração de um cabo.....	22
Figura 3 - Ilustração de um cabo paralelo.....	22
Figura 4 - Ilustração de um cabo multipolar.....	23
Gráfico 1 - Acidentes fatais e não fatais provocados por choques elétricos.....	24
Gráfico 2 - Número de incêndios e mortes em consequência de sobrecargas ou curto circuitos.....	25
Figura 5 - Procedimento de medição do diâmetro externo total.....	28
Figura 6 - Procedimento de medição do diâmetro do material condutor.....	29
Figura 7 - Procedimento da medição da espessura do material isolante.....	30
Figura 8 - Detalhe do nível de água antes da amostra ser inserida na bureta.....	31
Figura 9 - Amostra de condutor no interior da bureta.....	32
Figura 10 - Detalhe da alteração do nível de água após a amostra de condutor ser inserida na bureta.....	33
Figura 11 - Detalhe da medição de massa do copo de Becker.....	34
Figura 12 - Detalhe da medição de massa do copo de Becker contendo água proveniente da bureta.....	35
Figura 13 - Detalhe do corte longitudinal sendo feito para a separação dos materiais.....	36
Figura 14 - Detalhe do material isolante separado do material condutor.....	37
Figura 15 - Detalhe da medição de massa do material condutor e material isolante, respectivamente.....	38
Figura 16 - Detalhe da fonte ajustada para um Ampere.....	39
Figura 17 - Visão geral do teste de resistência elétrica sendo realizado.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diâmetro externo.....	41
Tabela 2 - Média do diâmetro externo.....	41
Tabela 3 - Diâmetro material condutor.....	42
Tabela 4 - Média do diâmetro do material condutor.....	42
Tabela 5 - Espessura do material isolante.....	43
Tabela 6 - Média da espessura do material isolante.....	43
Tabela 7 - Massa total, material condutor e material isolante incluindo Becker	44
Tabela 8 - Volume total, material condutor e material isolante.....	44
Tabela 9 - Massa total, material condutor e material isolante.....	45
Tabela 10 - Resistência elétrica.....	45
Tabela 11 - Quantidade de fios.....	46
Tabela 12 - Dados encontrados nos testes.....	47

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos	12
1.3 JUSTIFICATIVA	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 DEFINIÇÃO DE CONDUTOR ELÉTRICO	15
2.2 O COBRE (CU) COMO MATERIAL CONDUTOR	16
2.3 ISOLAÇÃO ELÉTRICA DE CONDUTORES	18
2.4 FORMA CONSTRUTIVA DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE COBRE	20
2.4.1 Condutores do tipo fio	20
2.4.2 Condutores do tipo cabo	21
2.5 RISCOS NA UTILIZAÇÃO DE CONDUTORES DE BAIXA QUALIDADE	23
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	27
3.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	27
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DA COLETA DE DADOS	28
3.3.1 Diâmetro externo	28
3.3.2 Diâmetro do material condutor	29
3.3.3 Espessura do material isolante	30

3.3.4	Volume total, volume do material isolante e volume do material condutor	30
3.3.5	Massa total, isolante e condutor	37
3.3.6	Resistência elétrica	38
3.3.7	Quantidade de fios	40
3.3.8	Definição operacional das variáveis	40
4	RESULTADOS	41
4.1	VALORES DO DIÂMETRO EXTERNO	41
4.2	VALORES DO DIÂMETRO DO MATERIAL CONDUTOR	42
4.3	VALORES DA ESPESSURA DO MATERIAL ISOLANTE	42
4.4	VALORES DO VOLUME TOTAL, VOLUME DO MATERIAL ISOLANTE E VOLUME DO MATERIAL CONDUTOR	43
4.5	VALORES DA MASSA TOTAL, MASSA DO MATERIAL ISOLANTE E MASSA DO MATERIAL CONDUTOR	44
4.6	VALORES DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA	45
4.7	QUANTIDADE DE FIOS	45
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais é totalmente impensável viver sem as facilidades e comodidades proporcionadas por aparelhos acionados por energia elétrica, isso se aplica desde uma pequena residência, com o uso de eletrodomésticos, até uma grande indústria, com seus motores elétricos.

Ao longo do tempo, a demanda por energia elétrica só tem aumentado; enquanto nos primórdios do século passado a energia elétrica em uma residência era geralmente responsável apenas por alimentar algumas lâmpadas, um aparelho de rádio e um refrigerador, dificilmente tendo uma carga instalada superior a 1000 Watts de potência, atualmente esse cenário é bem diferente; uma única residência pode atingir facilmente uma carga instalada de 10.000 Watts. Isso muito se deve à difusão dos aparelhos elétricos, devido à diminuição dos seus custos de produção e também ao aumento do poder aquisitivo dos cidadãos.

Com a elevação do consumo de energia elétrica, a capacidade das instalações teve que aumentar da mesma forma, com isso, o uso de condutores elétricos com maior capacidade de condução de corrente elétrica se tornou necessário e imprescindível.

Em qualquer condutor elétrico, seja esse responsável pela entrega de uma potência elevada ou não, é esperado que os materiais usados na sua fabricação sejam de boa qualidade, e também que os métodos de fabricação e suas características técnicas atendam plenamente as normas brasileiras vigentes. Por outro lado, o incremento do número de acidentes ocasionados pela energia elétrica levanta a questão de que se realmente os condutores elétricos estão sendo produzidos em conformidade com tais normas.

O presente estudo avaliará por meio de testes em bancada as capacidades de condução elétrica, resistividade elétrica, resistência mecânica, resistência de isolamento, aquecimento, medições relativas ao tamanho da seção e camada de isolamento e pesagens de amostras de condutores elétricos de cobre, com isolamento de poli cloreto de vinila comercializados na cidade de Porto Alegre/ RS, e com os dados obtidos dos testes, determinar se as exigências das normas vigentes estão, de fato, sendo cumpridas e respeitadas pelos fabricantes analisados.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Os condutores elétricos constituem a parte de instalação elétrica que é responsável pela transmissão elétrica, cuja finalidade é levar a energia elétrica até uma determinada carga, a fim de alimentá-la corretamente.

O esperado de um condutor elétrico é que ele conduza a energia elétrica sem a ocorrência de perdas, aquecimento ou qualquer outra irregularidade que possa diminuir o desempenho e/ou segurança de uma instalação elétrica.

Tendo em vista o que foi exposto, este estudo propõe-se a buscar por respostas para a seguinte questão de pesquisa: Qual o nível de qualidade dos condutores elétricos disponíveis no mercado varejista da cidade de Porto Alegre?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos do presente estudo foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos, os quais são apresentados a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo consiste em, por meio de testes de bancada levantar dados sobre às características físicas e construtivas das amostras de condutores elétricos, para que essas informações viabilizem uma análise acerca da qualidade geral dos condutores em avaliação.

1.2.2 Objetivos específicos

São os objetivos específicos descritos neste trabalho apresentados abaixo.

- Verificar por meio de testes de bancada a resistência ôhmica dos condutores;
- Medir a rigidez dielétrica do material usado como isolante nos condutores;
- Verificar a elevação de temperatura dos condutores quando em sobrecorrente;
- Verificar a elevação de temperatura dos condutores ao conduzirem sua corrente elétrica nominal;
- Efetuar as medições necessárias afim de verificar a secção transversal dos condutores;
- Realizar a pesagem da massa total das amostras de condutores, e separadamente do material isolante e do material condutor.

1.3 JUSTIFICATIVA

Devido ao uso indispensável de condutores elétricos, tanto em instalações residenciais e comerciais, quanto industriais, torna-se fundamental que os mesmos cumpram os padrões de qualidade brasileiro, visando atender o nível de segurança necessário para sua utilização, assim como o alto desempenho das instalações.

Buscando avaliar a qualidade dos condutores produzidos no Brasil, foram realizados de janeiro a agosto de 2020 pela Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos (QUALIFIO) em parceria com o Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos (SINDICEL), testes de qualidade em condutores elétricos de 335 fabricantes, dos quais 42 % estavam não conforme, isto é, não atendendo um ou mais requisitos mínimos de qualidade (QUALIFIO, 2021).

Com esse percentual de fabricantes de condutores elétricos, produzindo produtos que não atendem os requisitos mínimos de qualidade, o nível de segurança das instalações elétricas pode estar sendo reduzido, colocando em risco as edificações onde estão implementadas e também colocando em risco seus usuários.

Em razão de que os testes para que se possa avaliar a qualidade de um condutor elétrico, serem relativamente complexos, a fiscalização desses produtos é prejudicada no sentido de agilidade na comprovação da baixa qualidade.

Por meio desse estudo é esperado obter-se um panorama acerca da qualidade dos condutores elétricos comercializados na cidade de Porto Alegre/RS, afim de se comparar com a média de qualidade nacional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo está dividido em tópicos, cuja finalidade é explanar temas e pontos que são fundamentais para o pleno entendimento do presente estudo. Sua revisão baseou-se em literaturas nacionais e internacionais que traziam informações relevantes a este trabalho.

2.1 DEFINIÇÃO DE CONDUTOR ELÉTRICO

A grande relevância dos condutores elétricos em uma instalação, deve-se ao fato de serem os responsáveis pela interligação e alimentação de todos os pontos de utilização, tais como tomadas e pontos de iluminação. Isso é confirmado com a seguinte afirmação: “Um dos elementos mais importantes de uma instalação elétrica é seu conjunto de condutores. Entende-se por condutor o elemento metálico, geralmente de forma cilíndrica, utilizado com a função específica do transporte de energia elétrica.” (NISKIER e MACINTYRE, 2013, p.96).

É de senso comum entre vários autores (ALLEN; GENE, 2009; CRUZ; ANICETO, 2012; SILVA FILHO, 2007) que de forma geral, todos materiais são condutores elétricos quando submetidos a determinado nível de tensão elétrica, o fator determinante para que um material tenha condutividade elétrica alta ou baixa, é a quantidade de elétrons livres que os átomos que constituem esse material possuem.

Uma maneira simples e didática de se descrever o átomo, como foi feito por Flarys (2013), é dizer-se que o átomo consiste em um núcleo, formado por prótons e nêutrons, em órbitas elípticas, ao redor desse núcleo, um terceiro tipo de partícula ali se movimenta, o elétron. Os diferentes tipos de materiais existentes se diferem pela quantidade de cada um desses três tipos de partículas que formam o átomo.

O mesmo autor segue explicando que por convenção os elétrons possuem carga elétrica negativa, os prótons carga elétrica positiva e os nêutrons possuem carga elétrica nula. Os nêutrons e prótons que formam o núcleo atômico, estão rigidamente interligados, desta maneira a única partícula que pode se movimentar é o elétron. A carga elétrica, cuja unidade desta grandeza no Sistema Internacional é o Coulomb, de

simbologia C, é de $-1,6 \times 10^{-19}$ C. Já a carga elétrica de um próton é de $1,6 \times 10^{-19}$ C, e a de um nêutron é de 0 C. Observa-se que prótons e elétrons possuem o mesmo módulo de carga elétrica, porém elétrons com carga negativa e prótons com carga positiva.

A nomenclatura da unidade Coulomb foi dada em homenagem ao físico francês Charles-Augustin de Coulomb, que contribuiu muito para a ciência, com suas descobertas nos campos da eletricidade e do magnetismo. Ele teve seu nascimento no ano de 1736 e seu falecimento, aos 70 anos de idade, no ano de 1806 (MUSEU WEG, 2018).

Como descreveu Halliday (2009), a corrente elétrica trata-se do fluxo ordenado de partículas com carga elétrica dentro de um condutor, isso ocorre quando existe uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades desse condutor. Sendo os melhores condutores, aqueles que possibilitam uma maior mobilidade dos elétrons. Quanto maior a quantidade de elétrons livres de cada átomo, menor será a quantidade de energia elétrica necessária para que esses elétrons entrem em movimento, assim estabelecendo uma corrente elétrica que circulará nesse material.

2.2 O COBRE (CU) COMO MATERIAL CONDUTOR

Como afirma Thue (2012) a ampacidade (capacidade de condução de corrente elétrica) é uma das características mais decisivas para a escolha de um bom material condutor. Os materiais com maior condutividade elétrica, em uma lista decrescente do valor dessa grandeza, são: a platina, o ouro, a prata, o cobre e o alumínio; como afirma Cruz e Aniceto (2012). Dentre esses metais, o cobre ao longo do tempo tem sido o material mais empregado na fabricação de condutores elétricos. Isso se deve ao fato que suas características físicas, o tornam um condutor elétrico relativamente eficiente, às suas propriedades mecânicas, que facilitam a fabricação dos condutores elétricos, como também o manuseio, instalação e manutenção dos mesmos. O fator custo-benefício desse material também é muito relevante.

Apesar do custo financeiro para a fabricação dos condutores de alumínio ser menor, quando comparado ao custo de fabricação dos condutores feitos com cobre, a quantidade de material condutor que deve ser utilizado em um condutor de alumínio

para que o mesmo tenha a mesma capacidade de condução de corrente elétrica de um feito de cobre, é maior, pois a resistividade elétrica do alumínio é maior; assim alega Petruzella (2014). O autor ainda acrescenta que as conexões elétricas feitas com condutores de cobre, são excelentes devido à sua baixa oxidação; o que já não é verdade para condutores de alumínio, por consequência da alta oxidação que este metal sofre em contato com o ar atmosférico, formando uma película de óxido de alumínio em toda a superfície do condutor, o que prejudica drasticamente as conexões elétricas, pois o óxido de alumínio é um material com baixa condutividade elétrica.

Outro fator determinante que torna o cobre o material mais usado na fabricação de condutores elétricos, é o impedimento da utilização de outros materiais, tal como o alumínio, em instalações residenciais, tal restrição feita pela Norma Brasileira Regulamentadora NBR-5410/2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Nas instalações elétricas com alimentadas com tensão alternada igual ou inferior a 1000 Volts ou 1500 Volts em corrente contínua, a norma que deve ser obedecida é a NBR-5410/2004. Esta norma dá as condições mínimas que as instalações de baixa tensão devem atender, para que por meio destas condições se possa garantir o seu seguro funcionamento, a segurança de pessoas e animais domésticos e a conservação de bens materiais.

Ainda tratando sobre o uso exclusivo de condutores de cobre em instalações elétricas de baixa tensão, temos o apontamento de Nery (2019, p. 85): “Segundo a NBR 5410/2004, nas instalações residenciais, somente devem ser usados condutores de cobre.”. Assim como Niskier e Macintyre (2013, p. 97) também afirmam que “Em instalações residenciais só podem ser empregados condutores de cobre, exceto condutores de aterramento e proteção.”. Isso se deve ao fato de as conexões feitas com condutores de alumínio sofrem com a oxidação do mesmo, e como geralmente os conectores dos equipamentos são feitos de cobre, isso prejudica ainda mais a conexão elétrica quando é feito o uso desse tipo de condutor. Tal fato é elucidado com o trecho a seguir:

De fato, os condutores de alumínio necessitam de cuidados maiores na manipulação e instalação, devido às suas características químicas e mecânicas. No entanto, o que torna decisiva a restrição ao seu maior uso é a dificuldade de se assegurar uma boa conexão com os terminais dos aparelhos consumidores, já que a maioria destes é própria para conexão com condutores de cobre. De maneira geral, as conexões com condutores de alumínio são

consideradas o ponto vulnerável de uma instalação, necessitando de mão de obra de boa qualidade e técnicas apropriadas. (MAMEDE FILHO, 2017, p. 85).

Com os fatores anteriormente expostos, os condutores elétricos de cobre, na visão de Petruzella (2013), são utilizados na construção de praticamente todas as instalações elétricas residenciais, comerciais e industriais, não só no Brasil, como também no mundo.

A pureza do cobre utilizado para a confecção dos condutores pode afetar drasticamente a ampacidade (capacidade de condução de corrente elétrica de um condutor), relata Thue (2012), o nível de pureza desejável do cobre deve ser da ordem de 100%, pequenas contaminações com Fósforo (P) ou arsênico (As) podem reduzir severamente a ampacidade dos condutores de cobre, essa redução pode chegar facilmente na casa dos 20 % em comparação a um condutor sem contaminações.

2.3 ISOLAÇÃO ELÉTRICA DE CONDUTORES

Como é descrito por Cruz e Aniceto (2012) o que caracteriza os materiais isolantes, ao contrário dos materiais condutores, é a reduzida quantidade de elétrons livres presente nos átomos desses elementos, dessa forma necessitando muita energia para que ocorra a condução da eletricidade; à essa característica, que dado material possui, de dificultar que se estabeleça a circulação de corrente elétrica, dá-se o nome de resistência elétrica, cuja unidade de medida no Sistema Internacional é o Ohm, simbolizado pela vigésima quarta e última letra do alfabeto grego Ômega ou Ómega, cuja grafia é Ω . Como explicam Jewet Jr. e Serway (2017), a nomenclatura dessa grandeza física foi dada em homenagem ao físico alemão e professor de ensino médio de nome Georg Simon Ohm, que teve seu nascimento no ano de 1789, falecendo no ano de 1854, com 66 anos de idade.

Como exemplos de materiais isolantes, utilizados em instalações elétricas, temos o PVC, a porcelana, a borracha, o vidro, o plástico, a baquelite e a mica.

A finalidade do uso da isolação em condutores elétricos, é separar o condutor do meio externo onde ele se encontra, assim afirma Nery (2019). Com a isolação se reduz

drasticamente os riscos de que uma pessoa venha a sofrer um choque elétrico, de um curto-circuito na instalação e fugas de corrente.

As isolações dos componentes de uma instalação elétrica desempenham um papel fundamental na sua segurança e na proteção contra os contatos diretos e indiretos, daí a importância das chamadas falhas de isolamento que podem, muitas vezes, levar a situações de perigo. (NERY, 2019, p. 26).

Em uma instalação elétrica de baixa tensão, o mais usual é a utilização de uma tensão de 220 Volts em corrente alternada para a alimentação das cargas. Evidencia Magioni et al. (2017) que neste contexto, os condutores elétricos de baixa tensão isolados por poli cloreto de vinila (PVC) são os mais utilizados. O setor elétrico, salienta YU et al. (2016), é terceiro maior consumidor de PVC mundialmente, ficando atrás apenas do setor de construção civil e do setor medicinal.

Alguns dos principais fatores que fazem com que o PVC seja o material mais utilizado para o fim de se isolar condutores elétricos é o seu baixo custo de produção, facilidade de manuseio, longa vida útil e excelente custo benefício, assim afirma Nery (2019).

Corroborando com Nery (2019), Passos (2021) complementa que o poli cloreto de vinila é um dos materiais poliméricos com o melhor custo-benefício que atualmente se encontra disponível no mercado para revestimento de cabos e fios elétricos.

Outras importantes características do PVC, que justificam seu amplo uso na fabricação de condutores elétricos, são citadas pelo Instituto Brasileiro do PVC (2018), tais como: ser leve, com aproximadamente $1,4 \text{ g/cm}^3$, totalmente impermeável a gases e líquidos, resistente às intempéries (sol, chuva, ventos e inclusive à maresia), vida útil elevada, estimada em 50 anos, baixo consumo de energia em sua fabricação e não é propagador de chamas, é autoextinguível; sendo essa uma característica altamente desejável, pois em caso de sobreaquecimento ou curto-circuito este material não entrará em combustão, desta maneira diminuindo drasticamente os riscos de um princípio de incêndio.

Acerca da qualidade dos materiais usados para a isolação dos condutores, aqui tendo como foco o PVC, Packa et al. (2017) observa em um âmbito internacional relatos de divergências no nível de qualidade na isolação elétrica em condutores de mesmo

tipo, porém de fabricantes diferentes, pode-se supor que certos fabricantes, em busca de uma maior margem de lucro em seus produtos, fazem uso de compostos de PVC com menor valor de aquisição no fabrico de seus produtos, e isso reflete diretamente de forma negativa na qualidade geral do condutor, principalmente na sua vida útil e segurança de operação.

2.4 FORMA CONSTRUTIVA DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE COBRE

Os condutores elétricos de cobre com isolamento, usados em instalações elétricas residenciais, os quais são o tema central do presente estudo, podem ser divididos em dois grupos, tendo como critério a sua forma física de manufatura. Estes dois tipos são: os fios e os cabos.

2.4.1 Condutores do tipo fio

O fio, também chamado de condutor rígido, é formado por apenas um condutor sólido e de forma cilíndrica, devidamente envolto em toda a sua extensão pelo material isolante. Desta maneira a NBR NM 280 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011) apresenta como definição para esses condutores, e ainda acrescenta que tais condutores devem ser produzidos com cobre mole.

É elucidado por Petruzella (2013) que o principal local do uso de condutores do tipo fio rígido se dá nas partes do circuito de ramificação onde o condutor não será submetido a curvas de raio pequeno, pois podem sofrer fissuras em seu material condutor ou até mesmo romperem, ou onde o fator flexibilidade não seja uma exigência recorrente; estas condições são comumente atendidas em circuitos instalados no interior de um eletroduto, em ramais de ligação, em um forro de uma residência. Outra característica que esse condutor apresenta é sua resistência à tração, sendo assim o mais indicado para redes aéreas com grandes vãos livres, para se evitar que o condutor venha a ter um esticamento ou mesmo uma ruptura em função do seu próprio peso. Temos disponíveis no mercado condutores do tipo fio rígido com espessuras que

variam entre 1,5 mm² e 10 mm², essas áreas referem-se apenas a parte condutora. Na Figura 1 temos uma representação didática de um fio rígido.

Figura 1 - Ilustração de um fio rígido.



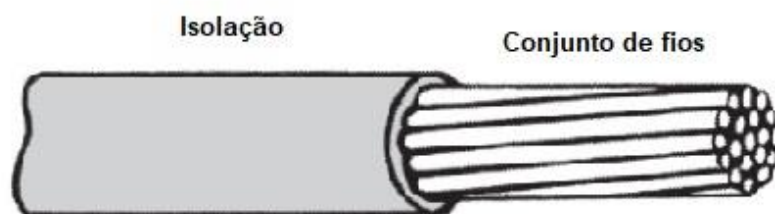
Fonte: PETRUZELLA, 2013. Editado pelo Autor.

Na parte esquerda (Isolação) da Figura 1, observa-se o condutor do tipo fio, com a sua isolação elétrica, já na parte direita (Fio único), observa-se o condutor exposto, ou também nomeado de nu, agora sem a capa de isolação.

2.4.2 Condutores do tipo cabo

O condutor do tipo cabo é formado por vários fios, com forma cilíndrica, devidamente isolados ao longo de toda sua extensão, isso é o que a NBR NM 280 apresenta como definição para esses condutores, e da mesma forma que os condutores do tipo fio, os condutores do tipo cabo devem ser produzidos com cobre mole e que todos fios que constituem o cabo devem ter o mesmo diâmetro nominal. Na Figura 2 temos uma representação didática de um cabo.

Figura 2 - Ilustração de um cabo.



Fonte: PETRUZELLA, 2013. Editado pelo autor.

Devido ao fato de um cabo ser constituído de vários fios com pequeno diâmetro, isso o torna muito mais flexível em comparação a um condutor do tipo fio. Essa flexibilidade é uma característica importante em cabos de alimentação de aparelhos elétricos, nessa situação usa-se cabos paralelos, que são dois cabos unidos paralelamente em toda sua extensão.

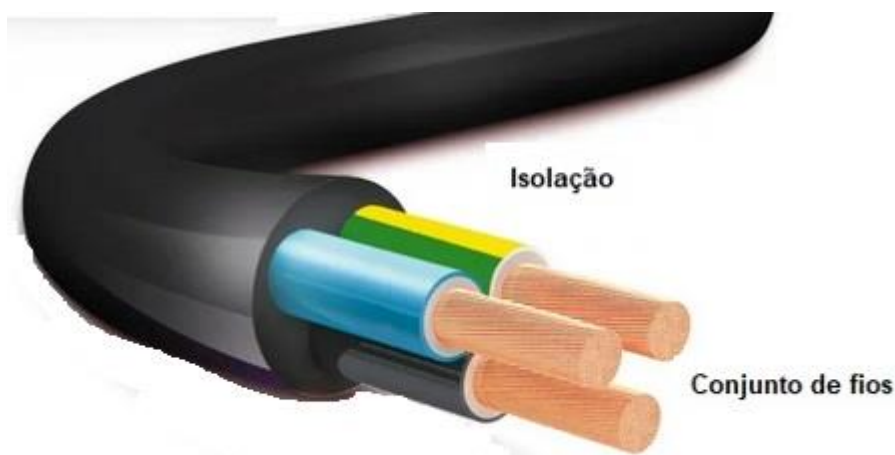
Figura 3 - Ilustração de um cabo paralelo.



Fonte: PETRUZELLA, 2013. Editado pelo autor.

Para casos onde seja necessário mais de dois condutores temos a possibilidade do uso de cabos multipolares, estes por sua vez tendo três ou mais cabos, isolados entre si, e todos envoltos em uma segunda camada isolante, tornando todos os cabos que o constituem um conjunto único.

Figura 4 - Ilustração de um cabo multipolar.



Fonte: PETRUZELLA, 2013. Editado pelo autor.

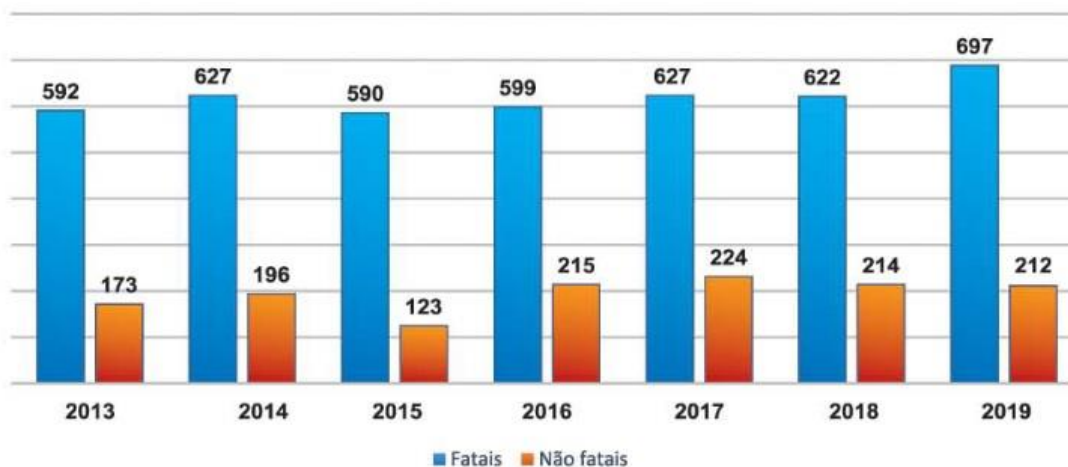
2.5 RISCOS NA UTILIZAÇÃO DE CONDUTORES DE BAIXA QUALIDADE

Mesmo que a utilização de condutores não certificados em instalações elétricas, na maioria das vezes não as impeçam de funcionar, o nível de riscos que a utilização desses condutores impõe é altíssimo, colocando em perigo iminente a vida de pessoas, animais e a integridade de bens. Seja por desconhecimento ou até mesmo negligência de certos profissionais da área e/ ou proprietários de imóveis, observa-se um crescimento nos casos de choques elétricos e incêndios (provocados por sobrecargas ou curto circuitos) e conseqüentemente o número de mortes (ABRACOPEL, Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, 2020).

O fator econômico também é um grande atrativo na compra de produtos elétricos em desconformidades com a legislação, ressalta Lima Júnior (2019), já que estes produtos atraem o consumidor pelo baixo preço de mercado, mas o nível de segurança destes produtos é negligenciado.

No Gráfico 1, podemos constatar o incremento da quantidade de acidentes fatais e não fatais relacionados à choques elétricos no território brasileiro.

Gráfico 1: Acidentes fatais e não fatais provocados por choques elétricos

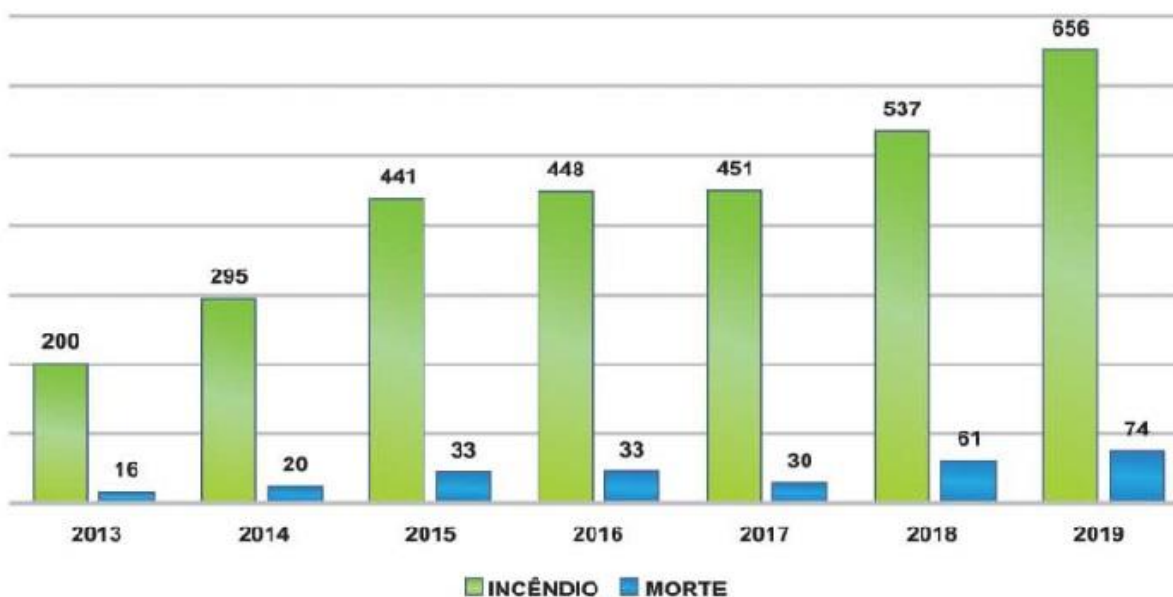


Fonte: ABRACOPEL, 2020.

Mais especificamente na região Sul do Brasil, o número de mortes provocadas por choques elétricos saltou de 88 mortes no ano de 2013, para 109 mortes no ano de 2019. Outro dado, deveras relevante, fornecido pela ABRACOPEL (2020) é que o local com maior incidência de acidentes fatais por choques elétricos, é justamente nas residências, superando inclusive o montante de acidentes fatais que ocorrem nas redes aéreas de distribuição.

Os números de incêndios originados por sobrecarga ou curto circuito e as mortes causados pelos mesmos, não param de crescer. A falta de cuidado e o descaso com as instalações residenciais são os principais agravantes (ABRACOPEL, 2020). No Gráfico 2 temos a magnitude desse crescimento, que é da ordem de mais de 3 vezes para os incêndios e de mais de 4 vezes para o número de mortes.

Gráfico 2 - Número de incêndios e mortes em consequência de sobrecargas ou curto circuitos.



Fonte: ABRACOPEL, 2020.

Novamente o local com maior incidência de incêndios e mortes são as residências; estas contribuindo com mais da metade do número total de incêndios e quase a totalidade do número de mortes.

Choques elétricos e curto circuitos ocorrem quando a isolação do condutor apresenta alguma falha, esta falha pode ter origem na fabricação do condutor, mas também pode surgir com a degradação da mesma. Durante o uso de um sistema elétrico, relatam Chengke (2017) e Vieira (2020), seus condutores são submetidos a variações e esforços térmicos, elétricos e mecânicos; e em instalações externas às intempéries. Tais esforços e variações ao longo do tempo promovem a constante degradação do isolamento dos condutores, isso associado a instalações precárias e falta de manutenção resultam em acidentes e interrupção no fornecimento de energia elétrica¹.

Em sistemas de energia elétrica de baixa tensão de corrente alternada, é relatado por Parise et al.² (2019 *apud* CUNHA, 2020) que incêndios causados por curto

¹ Tradução do próprio autor.

² PARISE, G.; PARISE L.; MAZZAU G. Investigations to Identify Electrical Ignitions of Fires: The Sleuth Engineer can Draw from an Array of Tools. **IEEE Industry Applications Magazine**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 54-59, 2019. Disponível em: <
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8656483/authors#authors>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

circuitos são raros, a principal causa dos incêndios é o sobreaquecimento. Sendo esse causado por sobrecargas no sistema, danos mecânicos em condutores que podem ter a sua seção transversal reduzida, causando condições anômalas de sobrecorrente e conexões elétricas soltas, todas essas situações ou o conjunto delas levam ao aquecimento dos condutores e possivelmente à ignição de materiais inflamáveis próximos, o que pode evoluir para um incêndio.

Quando a isolação de um condutor é por algum motivo rompida, e próximo a ele existe outro condutor também com a isolação rompida, pode ocorrer um arco elétrico entre estes dois condutores, Parise (2019) explica que essa é segunda maior causa de incêndios por falhas em instalações elétricas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo se expõe a caracterização da pesquisa, bem como a sua delimitação e uma descrição dos instrumentos, metodologias e técnicas utilizados para a coleta dos dados que são a base deste.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Dentre os diversos tipos de pesquisas mencionados por Demos (2000), a presente se enquadra no tipo de pesquisa prática. Segundo o autor “Seja qual for a dimensão visualizada, a prática também é uma forma de descobrir a realidade”.

Com as análises efetuadas com os condutores elétricos, é possível confirmar se suas características reais, condizem com as que o fabricante, de forma teórica, afirma que tais condutores possuem.

3.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A delimitação de uma pesquisa é estabelecer limites para a investigação que será feita, esses limites tangem o assunto escolhido, para que a pesquisa não se torne demasiadamente extensa e/ou complexa; a extensão, pois geralmente não é viável acompanhar todos o âmbito no qual o fato analisado acontece, e ainda é complementado por Marconi e Lakatos (2017) que meios humanos, econômicos e exiguidade de prazo, são alguns dos diversos outros fatores que podem restringir o campo de ação de uma determinada pesquisa.

Sendo assim, a presente pesquisa faz uso de amostras de condutores elétricos adquiridas em estabelecimentos comerciais de materiais de construção, estes situados na região Sul da cidade de Porto Alegre/ RS. As amostras obtidas possuem um comprimento de um metro linear, secção transversal de 1,5 milímetros quadrados, isolamento de PVC, cobre como material condutor e do tipo cabo flexível simples.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DA COLETA DE DADOS

Os ensaios e testes aos quais os condutores foram submetidos, se realizaram nos laboratórios de Eletricidade e Química, do prédio A, do campus Zona Sul da Universidade Ritter dos Reis.

3.3.1 Diâmetro externo

Para obtenção da medida do diâmetro externo da amostra de condutor, utilizou-se um paquímetro analógico da marca Mitutoyo, modelo 530-104. A amostra de condutor foi colocada entre as hastes do paquímetro, em seguida fechando-as de forma que ambas as hastes do paquímetro entrassem em contato com as faces externas da amostra em análise; essa medição foi feita em três diferentes pontos da amostra, sendo uma medição realizada no ponto médio e as duas medições restantes à cinco centímetros de distância de cada extremidade da amostra.

Figura 5 - Procedimento de medição do diâmetro externo total.



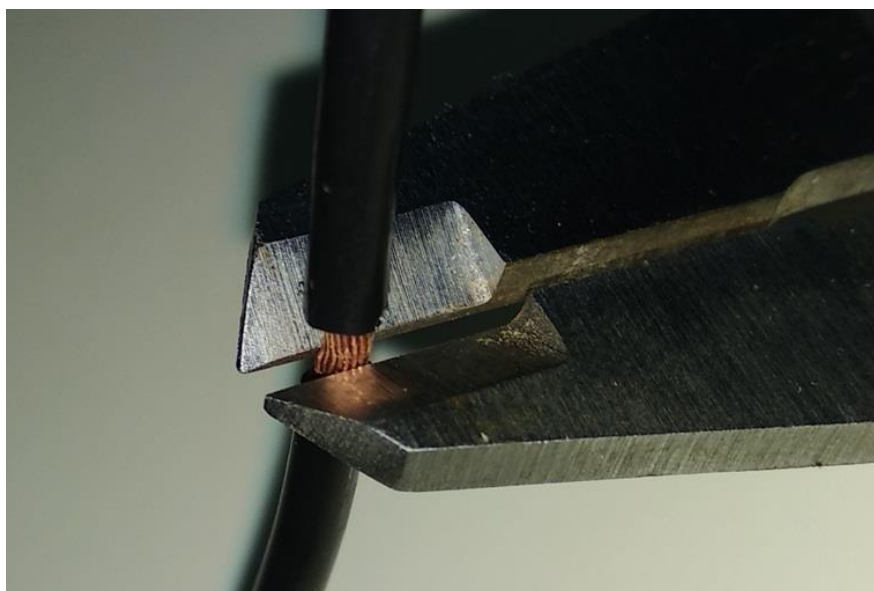
Fonte: Próprio autor.

O procedimento foi feito para cada uma das cinco amostras, os resultados encontrados estão descritos na Tabela 12.

3.3.2 Diâmetro do material condutor

A medição do diâmetro externo do material condutor da amostra foi feita empregando-se um paquímetro analógico da marca Mitutoyo, modelo 530-104. A cinco centímetros de uma das extremidades da amostra foi feito um corte em toda a circunferência do condutor, de forma que esse corte transpassasse todo o material isolante; os dois lados do material isolante no corte, foram afastados um do outro cerca de dois milímetros, expondo o material condutor no interior da amostra; com isso possibilitando que as hastes do paquímetro entrassem em contato apenas com o material condutor. Esse procedimento foi repetido na parte média da amostra.

Figura 6 - Procedimento de medição do diâmetro do material condutor.



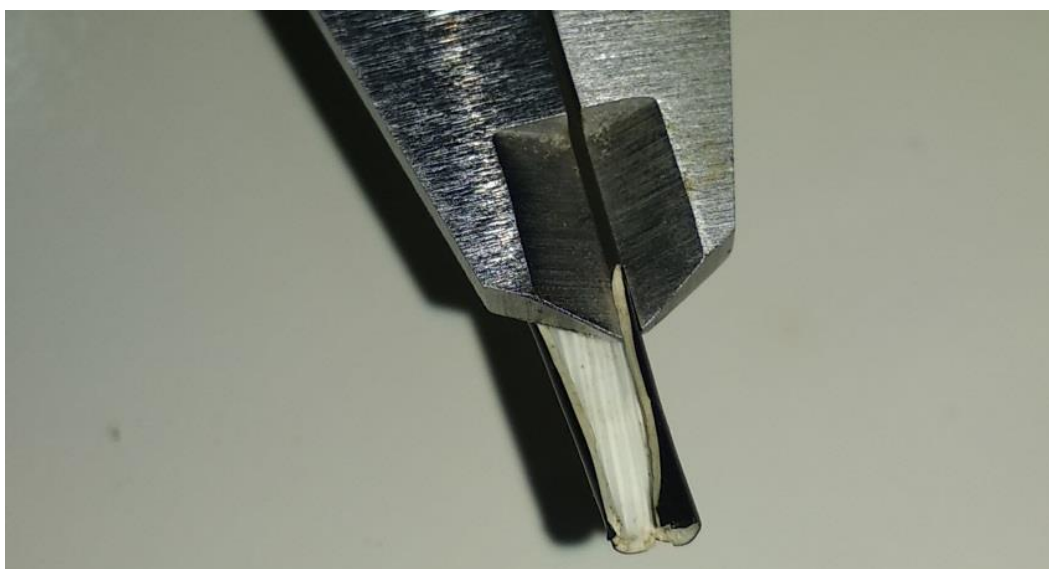
Fonte: Próprio autor.

O procedimento foi feito para cada uma das cinco amostras, os resultados encontrados estão descritos na Tabela 12.

3.3.3 Espessura do material isolante

Essa medida foi obtida fazendo uso de um paquímetro analógico da marca Mitutoyo, modelo 530-104. Em uma amostra de um centímetro de condutor, foi feito um corte longitudinal e retirado todo o material condutor de seu interior. As hastes do paquímetro foram posicionadas de forma transversal na amostra do material isolante do condutor, assim efetuando a medição da espessura do mesmo.

Figura 7 - Procedimento da medição da espessura do material isolante.



Fonte: Próprio Autor.

Esse procedimento foi feito para cada uma das cinco amostras de material isolante, os resultados encontrados estão descritos na Tabela 12.

3.3.4 Volume total, volume do material isolante e volume do material condutor

Para se determinar o volume total de cada uma das cinco amostras de condutores, foi empregado o método do deslocamento de água; que consiste em

submergir em água o sólido que se busca encontrar o volume e, por meio da alteração do nível da água, determinar seu volume.

As cinco amostras de condutores, cada uma com o comprimento de um metro linear foram dobradas ao meio para que pudessem ser inseridas completamente abaixo do nível da água em uma bureta graduada de vidro com torneira com capacidade de 100 mililitros. A bureta foi fixada em um suporte de pinças, de forma totalmente vertical, e foi preenchida com 100 mililitros de água.

Figura 8 - Detalhe do nível de água antes da amostra ser inserida na bureta.



Fonte: Próprio Autor.

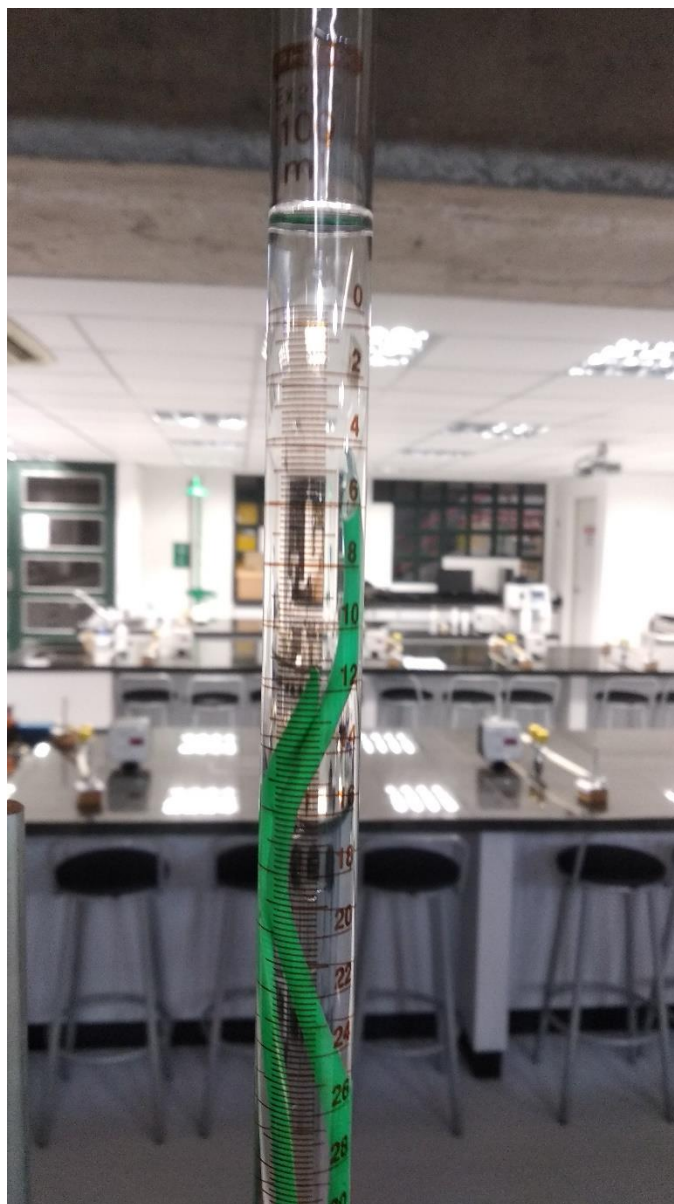
A amostra de condutor em análise, foi colocada no interior da bureta graduada, de forma que ficasse totalmente submersa e sem a presença de bolhas de ar.

Figura 9 - Amostra de condutor no interior da bureta.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 10 - Detalhe da alteração do nível de água após a amostra de condutor ser inserida na bureta.

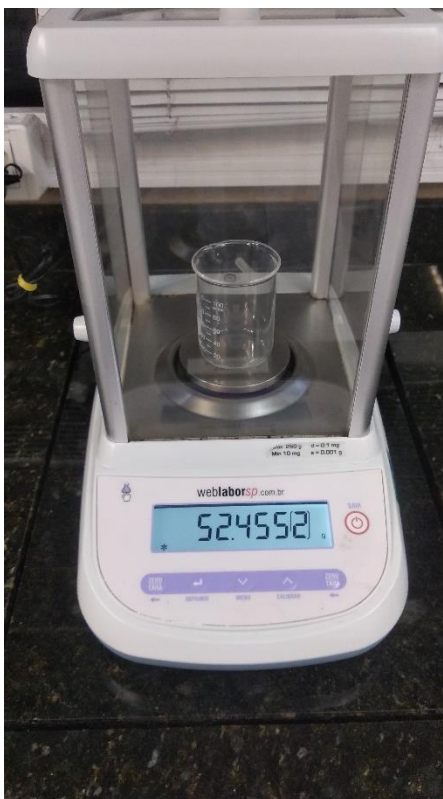


Fonte: Próprio Autor.

A água foi drenada da bureta graduada até a marca inicial (100 mililitros), através de sua torneira na parte inferior e depositada em um copo de Becker com capacidade de 100 mililitros.

Com o uso da balança semi analítica marca Weblabor, modelo M254Ai a massa do copo de Becker foi previamente medida, sendo encontrada a massa de 52,45 gramas.

Figura 11 - Detalhe da medição de massa do copo de Becker.



Fonte: Próprio Autor.

Posteriormente a água proveniente da bureta foi depositada no copo de Becker e sua massa foi novamente medida na semi balança analítica, sendo encontrado o valor de massa total, água e copo de Becker.

Figura 11 - Detalhe da medição de massa do copo de Becker contendo água proveniente da bureta.



Fonte: Próprio Autor.

O valor de massa total foi subtraído do valor de massa do copo de Becker, sabendo-se que cada grama de água corresponde à um centímetro cúbico foi encontrado o volume da amostra de condutor. Esse procedimento foi igualmente repetido para cada uma das cinco amostras de condutores; os resultados encontrados estão descritos na Tabela 12.

Para determinar o volume do material isolante e do material condutor das amostras, foi necessário realizar a separação dos dois materiais. Para efetuar a separação dos materiais, foi utilizado um estilete simples. Com o estilete foi feito um corte longitudinal em cada uma das amostras de condutores, de forma a cortá-las em duas partes; dessa forma possibilitando a retirada do material condutor de seu interior e conseqüentemente a separação dos dois materiais.

Figura 12 - Detalhe do corte longitudinal sendo feito para a separação dos materiais.



Fonte: Próprio Autor.

Com os materiais devidamente separados, foi também utilizado o método do deslocamento de água, para determinar o volume do material isolante e do material condutor de cada amostra.

Figura 13 - Detalhe do material isolante separado do material condutor.



Fonte: Próprio Autor.

Sendo que todo o procedimento realizado, foi idêntico ao realizado para a determinação do volume total das amostras, os resultados encontrados estão descritos na Tabela 12.

3.3.5 Massa total, isolante e condutor

Para a determinação da massa de cada uma das cinco amostras de condutores, fez-se o uso de uma balança semi analítica de marca Weblabor, modelo M254Ai. O valor de massa total foi encontrado se colocando simultaneamente todo o material isolante e todo o material condutor no prato da balança semi analítica e anotando o valor encontrado em cada uma das amostras.

Figura 5 - Detalhe da medição de massa do material condutor e material isolante, respectivamente.



Fonte: Próprio Autor.

O procedimento foi repetido usando apenas a parcela de material isolante e posteriormente apenas a parcela de material condutor de cada amostra. Os resultados encontrados estão descritos na Tabela 12.

3.3.6 Resistência elétrica

Nesta etapa, para encontrar-se a resistência elétrica das amostras de condutores, foi utilizado o método “quatro fios” ou método Kelvin, que consiste em conectar uma fonte de corrente ao condutor em análise e com um voltímetro, medir a queda de tensão que ocorre no condutor, com os valores de corrente e queda de tensão se torna possível calcular a resistência elétrica do condutor com uma precisão relativamente alta.

Os terminais da fonte de corrente da marca Minipa, modelo MPL-3303M foram conectados em cada um dos extremos da amostra de condutor, a fonte de corrente foi ajustada para fornecer um Ampere.

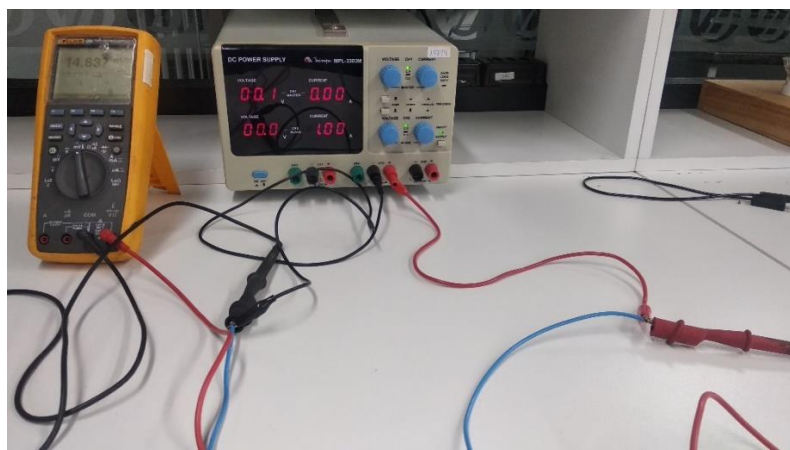
Figura 14 - Detalhe da fonte ajustada para um Ampere.



Fonte: Próprio autor.

As ponteiros de prova do multímetro de marca Fluke, modelo 289 foram também conectadas aos extremos do condutor em teste, com o auxílio de garras jacaré. O multímetro foi colocado na escala de leitura de mV (milivolts). A fonte de corrente foi ligada e o valor de tensão lido pelo multímetro devidamente registrado.

Figura 15 - Visão geral do teste de resistência elétrica sendo realizado.



Fonte: Próprio autor.

3.3.7 Quantidade de fios

Os cabos elétricos possuem em seu interior uma determinada quantidade de fios de material condutor; essa quantidade varia em função da seção nominal do cabo e da sua classe. Para se determinar a quantidade de fios no interior de cada amostra de condutor elétrico, foram retirados aproximadamente três centímetros do material isolante em uma das extremidades de cada amostra, a contagem da quantidade de fios foi feita de forma manual.

3.3.8 Definição operacional das variáveis

O significado de variáveis, para Sampieri (2013) é o seguinte: “Variáveis da pesquisa são as propriedades mensuradas, que fazem parte das hipóteses ou que pretendemos descrever.”. As variáveis de interesse desta pesquisa acerca de condutores elétricos, são todas do tipo quantitativas. Estas são: a resistência elétrica do material condutor e do material isolante, o diâmetro e massa do material condutor, a espessura e massa do material isolante e a temperatura dos condutores quando submetidos a diferentes níveis de corrente elétrica.

4 RESULTADOS

Este capítulo está dividido em tópicos, cuja finalidade é expor os resultados encontrados acerca das características físicas de cada amostra de condutor.

4.1 VALORES DO DIÂMETRO EXTERNO

As três medidas encontradas de diâmetro externo de cada amostra de condutor estão dispostas na tabela abaixo:

Tabela 1 - Diâmetro externo

Número da Amostra	1	2	3	4	5
	2,92	3,46	3,12	3,40	3,44
Diâmetro Externo (mm)	2,92	3,40	3,12	3,34	3,42
	2,88	3,36	3,10	3,30	3,40

Fonte: Próprio autor.

Com os três resultados obtidos foi feita a média aritmética, que consiste em somar os três resultados de cada amostra e dividir o valor encontrado por três. As médias encontradas foram as seguintes:

Tabela 2 - Média do diâmetro externo

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Média do Diâmetro Externo (mm)	2,90	3,40	3,10	3,34	3,42

Fonte: Próprio autor.

4.2 VALORES DO DIÂMETRO DO MATERIAL CONDUTOR

As três medidas encontradas de diâmetro do material condutor de cada amostra de cabo elétrico estão dispostas na tabela abaixo:

Tabela 3 - Diâmetro material condutor

Número da Amostra	1	2	3	4	5
	1,42	1,28	1,36	1,42	1,42
Diâmetro do Material Condutor (mm)	1,38	1,30	1,34	1,48	1,42
	1,36	1,36	1,38	1,46	1,40

Fonte: Próprio autor.

Com os três resultados obtidos foi feita a média aritmética, que consiste em somar os três resultados de cada amostra e dividir o valor encontrado por três. As médias encontradas foram as seguintes:

Tabela 4 - Média do diâmetro do material condutor

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Média do Diâmetro Externo (mm)	1,38	1,31	1,36	1,45	1,41

Fonte: Próprio autor.

4.3 VALORES DA ESPESSURA DO MATERIAL ISOLANTE

As três medidas encontradas de espessura do material isolante de cada amostra de cabo elétrico estão dispostas na tabela abaixo:

Tabela 5 - Espessura do material isolante

Número da Amostra	1	2	3	4	5
	0,62	0,80	0,52	0,78	0,70
Espessura do Material Isolante (mm)	0,82	1,00	0,70	0,86	0,68
	0,76	0,80	0,48	0,76	0,74

Fonte: Próprio autor.

Com os três resultados obtidos foi feita a média aritmética, que consiste em somar os três resultados de cada amostra e dividir o valor encontrado por três. As médias encontradas foram as seguintes:

Tabela 6 - Média da espessura do material isolante

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Média da Espessura do Material Isolante (mm)	0,73	0,86	0,80	0,80	0,70

Fonte: Próprio autor.

4.4 VALORES DO VOLUME TOTAL, VOLUME DO MATERIAL ISOLANTE E VOLUME DO MATERIAL CONDUTOR

Os valores de massa encontrados no teste de deslocamento de água, ainda com a massa do copo de Becker estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 7 - Massa total, material condutor e material isolante incluindo Becker

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Massa Total (g)	59,07	61,19	59,52	61,05	61,54
Massa Material Condutor (g)	53,97	53,98	53,89	54,88	54,82
Massa Material Isolante (g)	57,55	59,66	58,08	58,62	59,17

Fonte: Próprio autor.

Das medidas encontradas de massa total, massa do material isolante e massa do material condutor de cada amostra de cabo elétrico, foi subtraído o valor da massa do copo de Becker, que é de 52,45 gramas, sabendo-se que cada grama de água corresponde a um centímetro cúbico de volume, os valores da tabela abaixo já estão com a unidade de volume das amostras,

Tabela 8 - Volume total, material condutor e material isolante

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Volume Total (cm ³)	6,63	8,75	7,08	8,61	9,10
Volume Material Condutor (cm ³)	1,53	1,54	1,45	2,44	2,38
Volume Material Isolante (cm ³)	5,1	7,21	5,63	6,17	6,72

Fonte: Próprio autor.

4.5 VALORES DA MASSA TOTAL, MASSA DO MATERIAL ISOLANTE E MASSA DO MATERIAL CONDUTOR

Os valores de massa total, massa do material condutor e massa do material isolante encontrados, estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 9 - Massa total, material condutor e material isolante

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Massa Total (g)	19,08	22,87	20,15	23,25	23,77
Massa Material Condutor (g)	11,24	11,93	11,69	12,33	12,34
Massa Material Isolante (g)	7,81	10,92	8,44	10,92	11,43

Fonte: Próprio autor.

4.6 VALORES DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A lei de Ohm estabelece que a resistência elétrica é igual à tensão dividida pela corrente elétrica; como a corrente aplicada nos condutores foi de um Ampere, logo o valor de tensão lido no multímetro é igual ao valor da resistência elétrica do condutor em teste. Os valores de resistência elétrica encontrados para cada uma das amostras, estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 10 - Resistência elétrica

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Resistência Elétrica (mΩ)	14,6	14,3	14,7	13,6	13,2

Fonte: Próprio autor.

4.7 QUANTIDADE DE FIOS

A quantidade de fios condutores encontrados no interior de cada amostra de condutor elétrico, estão dispostos na tabela abaixo:

Tabela 11 - Quantidade de fios

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Quantidade de Fios	10	16	24	21	25

Fonte: Próprio autor.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tendo em mãos todos os dados obtidos por meio da realização dos testes supracitados, os dados foram reunidos em uma tabela para, com isso, facilitar a visualização e seu entendimento.

Tabela 12 - Dados encontrados nos testes.

Número da Amostra	1	2	3	4	5
Diâmetro Externo Total (mm)	2,90	3,40	3,10	3,34	3,42
Diâmetro do Material Condutor (mm)	1,38	1,31	1,36	1,45	1,41
Espessura do Material Isolante (mm)	0,73	0,86	0,80	0,80	0,70
Volume Total (cm ³)	6,63	8,75	7,08	8,61	9,10
Volume Material Isolante (cm ³)	5,1	7,21	5,63	6,17	6,72
Volume Material Condutor (cm ³)	1,53	1,54	1,45	2,44	2,38
Massa Total (g)	19,08	22,87	20,15	23,25	23,77
Massa do Material Isolante (g)	7,81	10,92	8,44	10,92	11,43
Massa do Material Condutor (g)	11,24	11,93	11,69	12,33	12,34
Resistência Elétrica (Ohm/ m)	14,6	14,3	14,7	13,6	13,2
Quantidade de fios	10	16	24	21	25

Fonte: Próprio autor.

No quesito diâmetro externo, podemos observar que os valores encontrados foram um tanto discrepantes entre si, com a maior diferença encontrada entre as amostras de número 1 e de número 5; a medição do diâmetro externo da amostra de número 1 indicou que ela possui aproximadamente 85% do diâmetro externo encontrado na amostra de número 5. As demais amostras apresentaram os valores encontrados bem aproximados entre si. Todavia, não se pode excluir, algum erro na

medição dessas amostras por conta do instrumento de medição utilizado e da quantidade de medições efetuadas.

Os valores encontrados na medição do diâmetro do material condutor, estão bem próximas entre si, com a maior diferença sendo de 0,14 milímetros entre a amostra de número 2 e a amostra de número 4. Mais uma vez a precisão do instrumento pode ter distorcido os valores encontrados, mas a principal causa que pode ter influenciado nestes resultados, é o fato de o material condutor ser composto vários fios, dessa forma dependendo de como esses fios estavam alocados dentro do condutor, poderia fornecer valores mais altos ou valores mais baixos na leitura do diâmetro.

Nas medições da espessura do material isolante, a maior diferença de valores encontrados, aconteceu entre a amostra de número 2 e a amostra de número 5, a grandeza desta diferença e de 0,16mm. A precisão do instrumento de medida pode ter influenciado nestes valores, mas como pode-se observar na Figura 7, página 30, a capa de material isolante possui em toda a superfície do seu interior, várias estrias, as medições foram efetuadas nos vales destas estrias, então os valores encontrados são dos pontos com menor espessura.

No volume total das amostras, uma diferença de aproximadamente 37% entre a amostra de número 1 e a amostra de número 5 foi encontrada, e de 33% entre a amostra de número 3 e a amostra de número 5.

O quesito volume de material condutor, apresentou a maior diferença entre as amostras de número 3 e a de número 4, sendo esta diferença de aproximadamente 68%; as amostras de número 1 e 2 ficaram muito próximas dessa diferença encontrada, em relação a amostra de número 5.

A maior diferença entre os valores de massa total encontrados, novamente ocorreu entre as amostras de número 1 e número 5, essa diferença foi de cerca de 24%. As amostras com maiores valores de massa total foram as de número 2,4 e 5, e tiveram valores aproximados entre si. As amostras de número 1 e 3, tiveram valores baixos de massa total e aproximados entre si.

Observou-se a maior diferença de massa de material isolante entre as amostras de número 1 e 5 novamente, essa diferença foi de aproximadamente 46%. O agrupamento de valores próximos, mais altos e mais baixos respectivamente foram das amostras de número 1 e 3, das amostras de número 2,4 e 5.

Já nas medições de massa do material condutor, os valores encontrados nas medições foram relativamente próximos, sendo a maior diferença encontrada entre as amostras de número 1 e 5, mais uma vez. Essa diferença foi de aproximadamente 10%, ou 1,1 gramas.

Os valores encontrados para a resistência elétrica foram bem próximos nas amostras de número 1, 2 e 3, com valores mais altos que nas amostras de número 4 e 5. A maior diferença ocorreu entre as amostras de número 3 e 5, sendo essa diferença de cerca de 11%.

A quantidade de fios no interior de cada amostra foi o critério avaliado com a maior diferença encontrada, sendo que novamente ocorreu entre as amostras de número 1 e número 5. Essa diferença em números absolutos foi de 15 fios, onde a amostra 1 possuía 10 fios em seu interior e a amostra 5 possuía 25 fios em seu condutor. Sendo está diferença de exatos 150%, as diferenças nos quesitos massa e volume do material condutor não são tão grandes, a amostra de número 1 possuía fios visivelmente de maior espessura que os da amostra de número 5, não foi possível fazer a medição exata do diâmetro destes fios, por falta de equipamento adequado. O maior diâmetro dos fios da amostra 1 acarreta uma menor flexibilidade do cabo, o tornando pouco maleável e, em certos casos, dificultando sua instalação.

Com uma análise geral dos dados, é possível concluir que as amostras de número 4 e 5 possuem valores melhores em relação as outras amostras, sendo que essas duas amostras possuem valores encontrados bem próximos entre si em todos quesitos.

Já a amostra com os piores valores encontrados, foi a amostra de número 1, tendo valores muito abaixo dos valores encontrados na amostra de número 5. No quesito volume do material condutor, atingindo uma diferença de cerca de 60%.

Durante a realização dos testes com as amostras, era notório, mesmo a olho nu, a diferença de qualidade de fabricação entre as amostras de número 1 e 5, sendo a primeira com um menor diâmetro e com o material isolante pouco flexível, o que dificultou muito o processo de separação do material condutor e do material isolante.

As amostras de número 4 e 5 pareciam de qualidade similar, assim como as amostras de número 2 e 3, o que foi comprovado com a análise dos dados coletados durante os testes que as amostras foram submetidas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para complementar e melhorar o presente estudo, a realização de testes com aplicação de corrente elétrica nas amostras de condutores, sendo testes de corrente nominal e corrente de sobrecarga, juntamente com o acompanhamento da possível elevação de temperatura dos condutores, forneceria dados extremamente relevantes para uma análise mais detalhada acerca da qualidade dos condutores. Testes de resistência dielétrica nos materiais isolantes para encontrar-se a tensão de ruptura do isolamento do cabo elétrico, e por fim uma análise química do material condutor, tendo em vista encontrar o grau de pureza do material condutor da amostra, que no caso seria o metal Cobre.

CONCLUSÃO

Em conclusão, o estudo sobre a qualidade de condutores elétricos é de extrema importância para garantir a segurança e o desempenho eficiente dos sistemas elétricos. Ao longo deste trabalho, foi possível compreender a importância dos condutores elétricos, suas características e os principais parâmetros utilizados para avaliar sua qualidade.

Ao analisar a literatura especializada e realizar experimentos, foi constatado que a qualidade dos condutores elétricos está diretamente relacionada à sua capacidade de conduzir corrente elétrica sem perdas significativas. Diversos fatores podem influenciar essa qualidade, incluindo a resistência do material condutor, a seção transversal do condutor, a temperatura de operação e a presença de imperfeições ou danos físicos.

Através de testes e medições precisas, foi possível observar a relação entre a qualidade dos condutores e sua eficiência energética. Condutividade elétrica elevada e baixa resistência são características desejáveis em um bom condutor elétrico.

Além disso, a avaliação da qualidade dos condutores elétricos é fundamental para garantir a conformidade com as normas e regulamentos de segurança elétrica. A correta instalação e o uso de condutores de qualidade adequada são essenciais para evitar riscos de incêndios, curtos-circuitos e falhas no sistema elétrico.

Por fim, este estudo destaca a importância da seleção criteriosa dos condutores elétricos, levando em consideração não apenas a resistência e a capacidade de condução de corrente, mas também a durabilidade, a proteção contra corrosão e a adequação ao ambiente de instalação.

A qualidade dos condutores elétricos é um fator determinante na eficiência, segurança e confiabilidade dos sistemas elétricos, e seu estudo aprofundado contribui para a melhoria contínua das instalações elétricas e a redução de possíveis problemas relacionados à condução elétrica.

REFERÊNCIAS

ABRACOPEL. **Anuário estatístico de acidentes de origem elétrica**. Disponível em: https://abracopel.org/wp-content/uploads/2020/02/Anu%C3%83%C2%A1rio_2020-Site.pdf . Acesso em: 27 abr. 2021.

ALLEN, T.P.; GENE, M. **Física para cientistas e engenheiros – Vol. 2 - eletricidade e magnetismo**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações Elétricas em Baixa Tensão. Rio de Janeiro: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 280**: Condutores de Cabos Isolados. Rio de Janeiro: 2011.

CHENGKE Z.; HUAJIE Y.; XIANG D. Review of Recent Research Towards Power Cable Life Cycle Management. **High Voltage**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 179 – 187, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317982066_Review_of_Recent_Research_towards_Power_Cable_Life_Cycle_Management . Acesso em: 24 abr. 2021.

CRUZ, E. C. A.; ANICETO, L. A. **Instalações elétricas - fundamentos, prática e projetos em instalações residenciais e comerciais**. São Paulo: Saraiva, 2012.

CUNHA, I. O. P.; LUGON, A. P.; BONA, B. M. Estudo das causas e consequências dos curtos circuitos residenciais: uma revisão de procedimentos para auxiliar a investigação de incêndio. **Revista FLAMMAE**, Pernambuco, v. 6, n. 15, p. 55-75, 2020. Disponível em: https://e0d7bd2c-8e8c-49d8-b8d1-a3128f6947c7.filesusr.com/ugd/08765e_f4fa76637edd43298f37d94b0de35659.pdf Acesso em: 30 abr. 2021.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

FLARYS, F. **Eletrotécnica geral: teoria e exercícios resolvidos**. São Paulo: Manole, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. v. 3, 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **O que é PVC**. Disponível em: <<http://pvc.org.br/o-que-e-pvc>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

LIMA JÚNIOR, G. S. A importância da prevenção de incêndios ocasionados por curto circuito em edificações. **Revista Ideias & Inovação**, Aracaju, v. 5, n.1, p. 83-92, 2019. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/ideiaseinovacao/article/view/7091> . Acesso em: 28 abr. 2021.

MAGIONI, P. L. *et al.* Aging Index as an Indicator of Degradation of Low Voltage Electrical Cables Insulated by PVC. **Revista Ifes Ciência**, [s. i.], v. 3, n. 1, p. 4-15, 2017. Disponível em: < <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/288/260>>. Acesso em 30 abr. 2021.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS E. M. **Técnicas de pesquisa**. São Paulo: Atlas ,2017.

MUSEU WEG. **Charles de Coulomb e a Lei da Força Elétrica. [s.l.]**, 2018. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/charles-de-coulomb-e-a-lei-da-forca-eletrica/> . Acesso em: 15 abr. 2021.

NERY, N. **Instalações elétricas - princípios e aplicações**. São Paulo: Érica: 2019.

NISKIER, J.; MACINTYRE, A. J. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2013.

PACKA, J., VARY, M., LELAK, J., & SALY, V. Degradation of 230/400 V Distribution Cables with PVC Insulation. **18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)**, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7967225> . Acesso em: 22 abr. 2021.

PARISE, G.; PARISE L.; MAZZAU G. Investigations to Identify Electrical Ignitions of Fires: The Sleuth Engineer can Draw from an Array of Tools. **IEEE Industry Applications Magazine**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 54-59, 2019. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8656483/authors#authors>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

PASSOS, D. Estudos das propriedades elétrica e resistência a chama de cabos e fios de cobre/alumínio revestidos de PVC. **Revista Caleidoscópio**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 1-2, 2021. Disponível em: <https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/view/528/630>. Acesso em: 18 abr. 2021.

PETRUZELLA, F. D. **Eletrotécnica I**. Porto Alegre: AMGH, 2014.

QUALIFIO. **Monitoramento**. 2021. Disponível em:
<<https://www.qualifio.org.br/monitoramento>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

SANPIERI, R. H.; COLLADO C. F.; LUCIO M. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2013.

SERWAY R. A.; JEWETT JR. J. W. **Física para cientistas e engenheiros - Volume 3 - Eletricidade e magnetismo**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2017.

SILVA FILHO, M.T. **Fundamentos de eletricidade**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2007.

THUE, W. **Electrical Power Cable Engineering**. New York: Taylor & Francis Group, 2012.

VIEIRA, M. P.; FERNANDES, M. R.; MUNIZ, P. R. **Diagnóstico de degradação de isolamento de cabos elétricos de baixa tensão por análise de imagem e Classificação por Rede Neural Artificial**, [s.l.], v. 1, n. 1, 2020. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2296/1793 . Acesso em: 28 abr. 2021.

YU, J. et al. Thermal Degradation of PVC: A Review. **Waste Management**, [s.l.], v. 48, p. 300-314, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X15302233>>. Acesso em: 28 abr. 2021.