

ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE ISOLAÇÃO DE CABOS ELÉTRICOS EM ALGUNS DOS SETORES DE UMA INDÚSTRIA CERÂMICA FICTÍCIA

Gian Dácio de Oliveira Favaretto (FHO) – E-mail: gian.favaretto@alunos.fho.edu.br

Prof. Dr. Bruno Eduardo Teixeira (FHO) – E-mail: bruno.eduardo@fho.edu.br

Resumo

Palavras-Chaves: cabos elétricos; isolação de cabos elétricos; dimensionamento elétrico.

1. Introdução

A confiabilidade e a continuidade operacional de instalações elétricas de baixa tensão (BT) dependem, de forma significativa, da correta seleção e do adequado dimensionamento de condutores e cabos. Em ambientes industriais, essa decisão torna-se ainda mais crítica, pois fatores como temperatura elevada, umidade, poeira, agentes químicos e formas de instalação podem acelerar o envelhecimento dos materiais isolantes, aumentar perdas elétricas e elevar o risco de falhas. Nesse contexto, a escolha do tipo de isolação — como PVC, XLPE e EPR/HEPR — deixa de ser apenas uma preferência de mercado e passa a ser um elemento de engenharia associado à segurança, vida útil e custo total do sistema.

Em aplicações industriais, é comum que circuitos alimentem motores e cargas com correntes de partida relevantes, além de percursos com limitações de dissipação térmica (eletrocalhas, bandejamentos, agrupamentos, proximidade com fontes de calor). A elevação da temperatura ambiente e a piora das condições de resfriamento reduzem a capacidade de condução de corrente e podem impor correções no dimensionamento. Além disso, a temperatura influencia diretamente a resistência elétrica dos condutores, aumentando perdas por efeito Joule, aquecimento e, em consequência, a degradação do isolante. Assim, decisões inadequadas podem resultar em paradas não programadas, custos de manutenção elevados e redução da disponibilidade da planta.

Este trabalho aborda esse problema por meio de um estudo comparativo aplicado a um cenário industrial cerâmico, no qual existem trechos de instalação submetidos a condições severas: um setor associado à secadora (alta temperatura e umidade) e outro localizado na parte superior de um forno (temperatura elevada e presença de poeira). A partir desse cenário, são comparadas

alternativas de cabos em BT com diferentes materiais de isolamento, avaliando-se como a escolha do isolante impacta o dimensionamento, a viabilidade técnica, o comportamento térmico e implicações econômicas de aquisição e manutenção. O dimensionamento é conduzido com base nos critérios normativos aplicáveis à BT, considerando capacidade de condução de corrente e limites de queda de tensão em regime permanente e em partida de motores.

1.1. Justificativa

A indústria demanda soluções que combinem segurança elétrica, confiabilidade e otimização de custos. Embora o PVC seja amplamente difundido por questões de disponibilidade e custo inicial, sua aplicação pode ser limitada em ambientes com temperaturas elevadas. Por outro lado, isolações como XLPE e EPR/HEPR oferecem maior desempenho térmico, porém tendem a apresentar maior custo de aquisição. Uma análise comparativa baseada em critérios normativos, condições reais de instalação e avaliação econômica contribui para decisões mais robustas, reduzindo riscos operacionais e orientando especificações coerentes com a severidade do ambiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Comparar tecnicamente e economicamente cabos de baixa tensão com diferentes materiais de isolamento (PVC, XLPE e EPR/HEPR) aplicados a um ambiente industrial cerâmico, verificando impactos no dimensionamento e na confiabilidade.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar as condições ambientais e de instalação dos trechos analisados (secadora e forno).
- Dimensionar condutores/cabos conforme critérios normativos de BT, considerando capacidade e queda de tensão (regime e partida).
- Verificar a viabilidade de aplicação de cada isolação nos cenários propostos, com ênfase no desempenho térmico.
- Comparar custos de aquisição e discutir implicações em manutenção e perdas elétricas associadas à temperatura.
- Consolidar recomendações de aplicação para o cenário estudado.

2. Revisão de literatura

2.1. Condutores elétricos

Os condutores elétricos representam um dos principais elementos das instalações elétricas, sendo os responsáveis pela condução da corrente elétrica com segurança e eficiência. A escolha adequada desses condutores está diretamente ligada à segurança, à durabilidade e ao desempenho da instalação elétrica industrial.

Segundo Cotrim (2009), condutores são componentes fundamentais das linhas elétricas e podem ser classificados como fios, cabos ou barras, conforme a constituição física e a aplicação a que se destinam. A ABNT NBR 5410:2004 define condutor como o elemento condutor de eletricidade, geralmente metálico, que pode estar nu ou possuir isolação, revestimento ou cobertura conforme o tipo de instalação e o nível de tensão envolvido.

A norma NBR 5410 também classifica os condutores em três categorias principais:

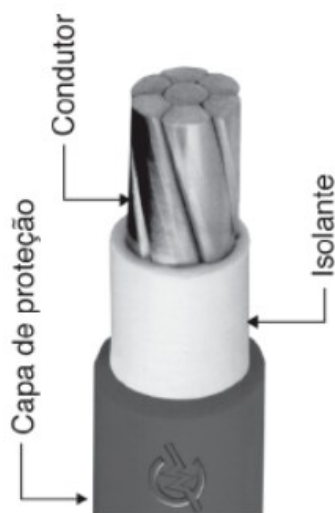
- Fio: condutor metálico maciço, flexível, com seção transversal constante, podendo ser nu, coberto, revestido ou isolado;
- Barra: condutor rígido em forma de tubo ou perfil, fornecido em trechos retilíneos;
- Cabo: conjunto de fios encordoados, isolados ou não entre si, podendo formar cabos unipolares ou multipolares, isolados, nus ou multiplexados (NBR 5410, 2004).

Além disso, a escolha correta da seção dos condutores deve levar em conta fatores como a capacidade de condução de corrente, a queda de tensão admissível, o tipo de instalação e o agrupamento de condutores. A NBR 5410 define que a queda de tensão máxima permitida, entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização, deve respeitar os limites especificados para garantir o desempenho dos equipamentos e a segurança da instalação (NBR 5410, 2004).

Portanto, a seleção dos condutores elétricos em uma instalação industrial deve obedecer a critérios técnicos normativos, considerando aspectos elétricos, térmicos e ambientais, de modo a assegurar a eficiência energética, a segurança operacional e a vida útil do sistema elétrico.

Na figura a seguir é ilustrado um condutor elétrico unipolar isolado:

Figura 1 – Cabo unipolar isolado



Fonte: Mamede Filho (2017, p. 127)

2.2. Materiais condutores

Os materiais mais utilizados como condutores são o cobre e o alumínio. O cobre apresenta melhor condutividade elétrica e maior resistência mecânica, sendo mais empregado em instalações de maior criticidade. O alumínio, por sua vez, é utilizado em instalações onde se deseja reduzir o custo e o peso, embora exija terminais e conexões apropriadas devido à sua maior suscetibilidade à oxidação (Cotrim, 2009).

Conforme Mamede Filho (2017) afirma, “a maioria absoluta das instalações industriais emprega o cobre como o elemento condutor dos fios e cabos elétricos. O uso do condutor de alumínio neste tipo de instalação é muito reduzido, apesar de o preço de mercado ser significativamente inferior ao dos correspondentes condutores de cobre”.

Ainda de acordo Mamede Filho (2017), os condutores de alumínio exigem cuidados adicionais no manuseio e na montagem por conta de suas propriedades químicas e mecânicas. A principal dificuldade ao amplo uso do alumínio é garantir conexões confiáveis aos terminais dos equipamentos, já que a maioria deles é projetada para cabos de cobre. Por isso, as ligações com alumínio tendem a ser o ponto mais crítico da instalação e requerem mão de obra qualificada e técnicas específicas.

Dessa forma, para este estudo será considerado o uso de cabos com condutores em cobre e isolados para a instalação elétrica de baixa tensão dos motores dos setores da fábrica.

2.3. Isolação dos condutores elétricos

A utilização de cabos isolados é a mais comum em instalações de baixa e média tensão. Segundo Mamede Filho (2017), esses cabos são compostos por veias condutoras envoltas por materiais isolantes que oferecem segurança térmica, elétrica e mecânica, sendo adequados a diversas condições ambientais e operacionais.

No que se refere à isolação, os principais materiais empregados são o PVC (policloreto de vinila), o EPR (borracha etileno-propileno) e o XLPE (polietileno reticulado). Cada um apresenta características específicas quanto à temperatura de operação, resistência à umidade e às substâncias químicas. A norma NBR 7287:1992 trata dos requisitos de desempenho dos cabos com isolação em XLPE, enquanto a NBR 7286:2015 aborda os cabos com isolação em EPR.

As temperaturas características máximas suportadas pelos diferentes tipos de condutores (PVC, EPR e XLPE) podem ser observadas na Tabela 36 da ABNT NBR 5410, conforme mostrada a seguir:

Tabela 1 – Temperaturas características dos condutores

| Tipo de isolação | Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C | Temperatura limite de sobrecarga (condutor) °C | Temperatura limite de curto-circuito (condutor) °C |
|---|--|--|--|
| Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm ² | 70 | 100 | 160 |
| Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm ² | 70 | 100 | 140 |
| Borracha etileno-propileno (EPR) | 90 | 130 | 250 |
| Polietileno reticulado (XLPE) | 90 | 130 | 250 |

Fonte: ABNT (2004, p. 100)

Cotrim (2019, p. 152) afirma, a respeito das características comuns nos cabos com isolação sólida, a tendência é haver maior uniformidade do material e menor presença de vazios, o que reduz bastante os problemas de envelhecimento por efeitos elétricos. Quando surgem degradações por reações químicas ou por temperatura, elas podem ser mitigadas por uma formulação adequada do composto isolante. Por serem materiais sólidos, praticamente não

existe risco de escorrimento, inclusive em trechos verticais. Esses isolantes também absorvem pouca umidade, o que em muitos casos permite dispensar capa metálica. Além disso, o conjunto tende a ser pouco sensível a vibrações, de modo que proteções mecânicas extras só são necessárias conforme as condições de instalação ou operação. Por fim, o desempenho frente ao fogo pode ser melhorado por composições antichama e por uma construção apropriada do cabo, reduzindo a propagação das chamas.

A seguir, algumas considerações a respeito de cada material:

2.3.1. Policloreto de vinila (PVC)

O policloreto de vinila (PVC) é o material termoplástico mais utilizado na isolação de condutores de baixa tensão devido ao bom desempenho dielétrico, custo competitivo e processabilidade (extrusão) (Rodolfo Junior *et al*, 2006, p. 69). Em aplicações elétricas, o PVC é tido como excelente isolante; impurezas (íons metálicos) e formulações inadequadas podem degradar suas propriedades dielétricas (resistividade, rigidez dielétrica) (Rodolfo Junior *et al*, 2006, p. 38).

No Brasil, a aplicação e os limites de utilização dos cabos com isolação de PVC são definidos por normas. A ABNT NBR 5410 (Instalações elétricas de baixa tensão), em sua tabela 36, usa 70 °C como temperatura máxima de operação do condutor com isolação em PVC ao definir a capacidade de condução de corrente (ABNT, 2004, p. 100).

A ABNT NBR NM 247 (série) normaliza os cabos/condutores com isolação em PVC até 450/750 V, incluindo requisitos gerais (Parte 1) e particulares para condutores isolados sem cobertura para instalações fixas (Parte 3) (ABNT, 2002; 2006).

No comportamento ao fogo, o PVC tem tendência à autoextinção e não-propagação de chamas em formulações apropriadas, motivo pelo qual as linhas BWF são amplamente usadas em instalações prediais (Rodolfo Junior *et al*, 2006).

Segundo Cotrim (2009, p. 153) afirma sobre o PVC:

- É uma mistura de cloreto de polivinila puro (resina sintética), plastificante, cargas e estabilizantes;
- Sua rigidez dielétrica é elevada, porém, comparado com o polietileno, seu poder indutor específico é alto e sua resistência de isolamento mais fraca;
- Suas perdas dielétricas são elevadas, principalmente acima de 20 kV, limitando o seu emprego a sistemas de até 10 kV;
- Sua estabilidade química é considerável ante os produtos usuais. Misturas adequadas são muito pouco sensíveis à água;
- Transmite mal o fogo, mas sua combustão (em grande quantidade) provoca a produção de fumaça, gases corrosivos e tóxicos. A quantidade de gases e fumaça pode ser reduzida pela utilização de uma mistura de formulação adequada;

- O envelhecimento térmico pode ser eficazmente combatido por estabilizantes apropriados. É facilmente colorido com cores vivas;
- É um isolante muito bom para os cabos de potência e para os cabos de teletransmissão a distância média;
- [...].

Quanto às vantagens práticas do PVC, pode-se destacar:

- Bom isolamento elétrico e resistência mecânica adequados a instalações internas de baixa tensão (Rodolfo Junior *et al*, 2006);
- Custo/processo: material termoplástico, extrudável, com ampla disponibilidade (Rodolfo Junior *et al*, 2006);
- “O PVC é um material extremamente barato, simples de processar, tem boa resistência à propagação da chama e baixa permeabilidade à água. Entretanto, por conta do cloro existente em sua composição, emite gás tóxico durante a queima” (Paula, 2023, p. 56)

Quanto às limitações e desvantagens práticas do PVC, pode-se citar:

- Classe térmica limitada (70 °C) em serviço contínuo: atenção a agrupamentos, método de instalação e correções de capacidade de corrente conforme NBR 5410 (ABNT, 2004);
- Envelhecimento térmico (desidrocloração) e perda de propriedades se operado fora dos limites ou mal estabilizado (Rodolfo Junior *et al*, 2006);
- “A degradação do PVC pode favorecer o rompimento do isolamento do cabo elétrico e propiciar fugas de correntes elétricas ou curtos-circuitos, que quando não interrompidas por dispositivos de proteção podem provocar incêndios, promovendo assim, danos econômicos e ambientais.” (VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2021)
- Formulação: impurezas e aditivos inadequados podem reduzir propriedades dielétricas (Rodolfo Junior *et al*, 2006).

2.3.2. Borracha etileno-propileno (EPR)

Segundo Cotrim (2009, p. 153), as características específicas do EPR são:

- Usualmente reticulados com peróxidos orgânicos, apresentam elevada resistência ao envelhecimento térmico e à oxidação;
- Mantêm grande flexibilidade mesmo abaixo de 0 °C;
- Suportam descargas elétricas e radiações ionizantes inclusive sob aquecimento;
- Exibem ângulo de perdas reduzido nas aplicações de média tensão;
- Resistem à deformação térmica, tolerando cerca de 250 °C em curtos-circuitos;

- Absorvem umidade em nível moderado, passível de redução por formulação adequada;
- Preservam densidades de corrente aceitáveis em ambientes quentes graças ao bom comportamento ao envelhecimento térmico;
- Possuem baixa dispersão da rigidez dielétrica e são praticamente isentos de *treeing*;
- A borracha EPR é considerada excelente isolante sólido, com amplo histórico de uso em baixa, média e alta tensão.

2.3.3. Polietileno reticulado (XLPE)

Segundo Cotrim (2009, p. 153), as características específicas do XLPE são:

- O polietileno, ao ser reticulado quimicamente por peróxidos orgânicos ou agentes de ligação, transforma-se em material termofixo adequado para a isolamento de cabos, num processo análogo à vulcanização da borracha;
- A reticulação confere ao XLPE alta resistência à deformação térmica (admitindo, em regime transitório de curto-circuito, temperaturas da ordem de 250 °C), elimina a suscetibilidade do PE virgem à fissuração por tensão, mantém o bom desempenho em baixas temperaturas e reforça a estabilidade química;
- Possibilita a incorporação de cargas minerais e orgânicas para melhorar propriedades mecânicas, resistência ao intemperismo e, sobretudo, o comportamento ao fogo;
- Em termos de aplicação, o XLPE é empregado em cabos de baixa e média tensão;
- Em níveis superiores a 15 kV, a maior dispersão da rigidez dielétrica e a ocorrência de fenômenos como o *treeing* exigem cuidados específicos de projeto, fabricação e ensaios.

2.4. Cobertura

Para Hsin e Imai (2014), “além da isolamento, é comum constatar o emprego de outra camada de material isolante sobre aquela. Essa segunda camada, chamada de cobertura ou proteção, é normalmente constituída de PVC, mas pode também ser manufaturada de polietileno, neoprene ou hypalon”. (*apud* Goeking, 2019)

Ainda segundo Hsin e Imai (2014), “o autor ainda desataca que apesar de serem formadas da mesma matéria-prima, as coberturas são constituídas de polímeros diferentes daqueles usados para isolamento. Isso ocorre devido às diferentes funções inerentes a cada componente”.

2.5. A indústria cerâmica fictícia

Nesta seção são apresentados os ambientes em estudo da indústria cerâmica de telhas e blocos de telhas e blocos feitos de barro vermelho, seus efeitos na instalação elétrica e a necessidade da manutenção no sistema elétrico da instalação.

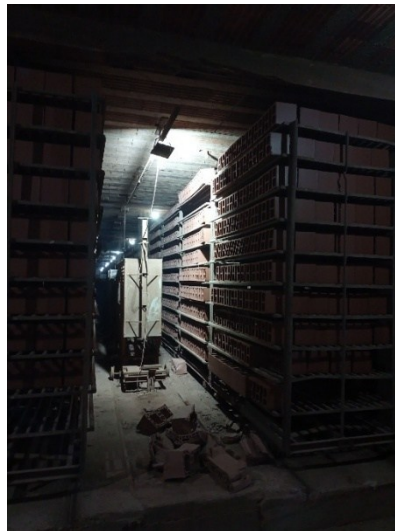
2.5.1. O ambiente da indústria

Para este trabalho, foram considerados alguns dos setores dessa indústria, conforme mostrados a seguir:

2.5.1.1. Secadora

Na secadora os blocos e telhas são colocados para secagem antes de irem para o forno, através de ar quente sangrado dos fornos que circula no interior dela. A secadora é um setor que apresenta altos índices de temperatura do ar no seu interior, que podem atingir cerca de 100°C. Essa temperatura afeta diretamente a instalação elétrica dos equipamentos desse ambiente.

Figura 2 – Secadora de blocos



Fonte: Autoria própria (2025)

2.5.1.2. Forno

Nos fornos, as telhas e os blocos são aquecidos até que atinjam as propriedades para as quais foram projetados. No interior da fábrica, um dos setores que apresentam as condições mais extremas para a instalação elétrica é o setor dos fornos, devido à alta temperatura próxima deles.

Figura 3 – Forno de blocos cerâmicos



Fonte: Autoria própria (2025)

2.5.2. Influências externas do ambiente na instalação elétrica

Na fábrica em estudo, há influências externas às quais a instalação elétrica pode ser submetida, em que, segundo a NBR 5410, devem ser levadas em consideração no projeto e na execução das instalações elétricas.

Em ambientes industriais, especialmente onde há presença de agentes agressivos, é fundamental observar a resistência da isolação e a robustez mecânica dos condutores. Creder (2016) destaca que “a seleção do tipo de cabo deve considerar não apenas a corrente nominal e a queda de tensão, mas também a resistência à propagação de chamas, presença de vapores químicos e temperaturas elevadas”.

A seguir, serão abordadas algumas dessas influências, observadas no ambiente em questão.

3.4.3.1. Temperatura ambiente

As temperaturas no ambiente fabril, principalmente próximas ao setor dos fornos, continuamente apresentam altos valores, devido ao calor gerado no interior deles com a queima do combustível, no caso cavaco.

“O superaquecimento é um problema comum que afeta diretamente a eficiência e a segurança dos cabos elétricos. Quando os condutores não conseguem dissipar o calor gerado durante o uso, podem surgir danos permanentes, aumentando o risco de falhas e acidentes” Condvolt Fios e Cabos Elétricos (2025).

Conforme Cotrim (2009, p. 285) afirma sobre a vida útil dos cabos elétricos expostos continuamente a temperaturas maiores que a temperatura máxima para serviço contínuo (θ_z):

A vida útil de um cabo é de cerca de 20 anos, considerando sua utilização em temperaturas não superiores à temperatura máxima para serviço contínuo. Admite-se que, para cada 5 °C além de θ_z , cai pela metade a vida útil do cabo. Assim, por exemplo, estima-se que um condutor de cobre isolado com PVC (θ_z 70 °C) dure dez anos com 75 °C, dois anos e meio com 85 °C e pouco mais de sete meses com 95 °C, desde que opere em regime contínuo com a corrente de sobrecarga mantida.

Conforme afirma a NBR 5410 (2004), em sua Tabela 34, que aborda a seleção e instalação de linhas elétricas em função das influências externas:

Quando a temperatura ambiente (ou do solo) for superior aos valores de referência (20°C para linhas subterrâneas e 30°C para as demais), as capacidades de condução de corrente dos condutores e cabos isolados devem ser reduzidas de acordo com 6.2.5.3.3

Dessa forma, para o projeto elétrico deve ser levado em consideração esse aumento na temperatura ambiente, pois, conforme visto, este afeta a capacidade de condução de corrente do condutor e as propriedades de isolamento da capa do condutor.

Para estes setores foram adotadas as temperaturas a seguir:

- Secadora (temperatura interior ambiente): 80 °C;
- Forno (eletrocalhas acima do forno): 45 °C.

3.4.3.2. Presença de corpos sólidos

Outro problema causado nesse tipo de ambiente é o acúmulo de corpos sólidos, como no caso em específico, a poeira sobre os cabos elétricos e, também, nos painéis elétricos e caixas de passagens. O depósito de poeira sobre cabos, eletrocalhas e dentro de painéis atua como um “cobertor”, reduzindo a troca de calor desses para o ambiente, ocasionando a elevação da temperatura do condutor.

“Podem ser necessárias precauções para evitar que a deposição de poeira ou outras substâncias chegue ao ponto de prejudicar a dissipação térmica das linhas elétricas. Isso inclui a seleção de um método de instalação que facilite a remoção da poeira.” NBR 5410 (2004, p. 96).

Outra observação importante é que, em indústrias cerâmicas que se utilizam o cavaco como combustível para o forno, deve-se atentar ao fato de que os resíduos de poeira oriundos do cavaco podem ser inflamáveis ou mesmo explosivos. Sobre isso, a NBR 5410 (2004, p. 59) diz que “quando for previsto um acúmulo de poeira combustível, sobre os invólucros dos componentes elétricos, capaz de suscitar risco de incêndio, devem ser tomadas precauções para impedir que esses invólucros atinjam as temperaturas de ignição da poeira.”

Figura 4 – Acúmulo de poeira em uma eletrocalha



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 5 – Acúmulo de poeira em um quadro de distribuição



Fonte: Autoria própria (2025)

3.4.1.3. Manutenção na instalação elétrica

Para evitar com que ocorram acidentes, danos na instalação elétrica, incêndios, demasiadas necessidades de manutenções na instalação e outros problemas causados pelo efeito desses agentes externos na instalação, conforme afirma a NBR 5410 (2004, p. 168), “deve ser inspecionado o estado da isolação dos condutores e de seus elementos de conexão, fixação e suporte, com vista a detectar sinais de aquecimento excessivo, rachaduras e ressecamentos, verificando-se também se a fixação, identificação e limpeza se encontram em boas condições.”

3. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa com estudo comparativo entre alternativas de cabos elétricos em dois setores típicos de uma indústria cerâmica (secadora e fornos). O estudo segue os princípios e etapas de projeto da ABNT NBR 5410, contemplando determinação das características gerais, seleção e instalação elétrica, baseando-se, também, em revisões bibliográficas de autores, normas técnicas que regem o setor elétrico de baixa tensão, além de dados técnicos de fabricantes de materiais elétricos.

As bibliografias utilizadas (sites, livros e normas técnicas) foram encontradas na internet por meio do Google, Google Acadêmico, Scielo e na loja online de e-book no site da Amazon.

A metodologia consiste em:

- Definição do cenário e das condições ambientais;

- Seleção de alternativas de cabos por tipo de isolamento;
- Dimensionamento elétrico conforme critérios normativos, com identificação do método determinante para a seção final;
- Discussão técnico-econômica, relacionando resultados com desempenho térmico, riscos de degradação e custos.

O trabalho está organizado em tópicos que apresentam a fundamentação teórica sobre cabos e materiais isolantes, os critérios normativos de dimensionamento, a descrição do estudo de caso e os cálculos realizados, culminando na apresentação dos resultados e discussão, seguida das conclusões e recomendações.

4. Dimensionamento dos cabos do circuito elétrico dos motores

O dimensionamento dos cabos elétricos desse projeto está disponível no link indicado no Anexo A.

5. Análise comparativa de viabilidade da implementação de diferentes tipos de isolamento de cabos elétricos em alguns dos setores de uma indústria cerâmica fictícia

Nesta seção será realizada a análise comparativa de viabilidade da implementação dos diferentes tipos de cabos elétricos isolados, considerando os ambientes, tipos de isolamento dos cabos e os custos.

5.1. Análise comparativa dos ambientes

5.1.1. Secadora

O setor da secadora é um ambiente quente (80 °C) e úmido, onde essa temperatura está acima da temperatura máxima de operação dos cabos isolados em PVC, e muito próximo do limite térmico do material, aumentando risco de envelhecimento, rigidez e fissuras. Para esse ambiente, a aplicação de cabos isolados em PVC não é viável.

Para ambiente úmido, cabos 0,6/1 kV com HEPR/EPR ou XLPE são mais adequados a condições mais exigentes.

5.1.2. Forno

O setor acima do forno – local por onde está a instalação elétrica – é um ambiente com temperatura ambiente de 45 °C, com bastante poeira. A temperatura nesse ambiente, por si só

ainda atende à operação do PVC, mas a poeira pode piorar a dissipação térmica e elevar a temperatura real do cabo. Isso afeta diretamente custo de manutenção devido a necessidade de limpeza e inspeção mais frequentes. Porém, a vantagem desse cabo é a melhor resistência às chamas, visto que o ambiente é propício à incêndios causados por possíveis fagulhas da queima do combustível utilizado nos fornos, no caso, o cavaco.

5.2. Análise comparativa dos tipos de isolamento

5.2.1. Considerações sobre os tipos de isolamento

Segundo Paula (2023, p. 46), a isolamento desses tipos de cabos de baixa tensão é formada por:

- PVC, quando se deseja uma melhor resistência à propagação do fogo;
- Polietileno, quando se pretende ter um melhor controle da capacitância;
- EPR ou XLPE, quando se necessita uma maior resistência a temperaturas elevadas. O EPR é ligeiramente mais flexível, o XLPE é um pouco mais barato, o EPR é mais resistente à degradação de suas características físicas no contato quando em contato com óleos;
- Compostos com baixa emissão de gases tóxicos e de fumaça;
- Outros materiais para utilizações em específico.

5.3. Análise comparativa dos custos

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) é uma fonte de referência de custos para serviços, materiais e obras relacionadas à engenharia no Brasil.

A seguir, será realizada uma comparação dos custos de aquisição e será discutido a respeito dos custos de manutenção e perdas de energia elétrica dos cabos.

5.3.1. Custos de aquisição

Os custos de aquisição dos cabos isolados em PVC e HEPR mencionados na tabela a seguir têm como base os valores de referência do SINAPI considerando a média de preços no estado de São Paulo no mês de novembro de 2025, e incluem apenas os valores dos materiais, sem considerar os custos de mão de obra, nem valores de frete. Os sites utilizados para consulta da base de dados do SINAPI estão disponíveis no Anexo B.

Tabela 2 – Valor dos cabos por tipo de isolamento – Pesquisa na base SINAPI (S)

| Especificação do cabo | Valor (R\$/m) |
|----------------------------|---------------|
| PVC (1x10,0mm²) (0,6/1 kV) | 9,87 |

| | |
|--|----------------|
| HEPR (3x6,0mm ²) (0,6/1 kV) | 20,35 |
| HEPR (3x10,0mm ²) (0,6/1 kV) | 32,78 |
| XLPE (1x4,0mm ²) (0,6/1 kV) | Não encontrado |
| XLPE (1x10,0mm ²) (0,6/1 kV) | Não encontrado |

Fonte: Autoria própria (2026)

Para os cabos de cobre isolados em XLPE, não foram encontrados preços em lojas online e na base do SINAPI. Estes são mais comumente utilizados para circuitos de alimentação e distribuição de energia elétrica, onde na maioria das vezes o cabo é multiplexado com condutores de alumínio. Portanto, para a comparação de valores de aquisição, estes cabos serão excluídos.

Também não foram encontrados preços no mercado para o cabo multipolar isolado em PVC com tensão máxima de isolação de 0,6/1kV. Os cabos multipolares PP (com isolação e cobertura em PVC) geralmente são encontrados com tensão de isolação de 300/500V, não atendendo aos critérios das propriedades antichama exigidas pela norma ABNT NBR 5410.

Dessa forma, para o cálculo do custo dos cabos isolados em PVC, foi considerado o uso de 3 cabos monopolares isolados em PVC com tensão de isolação de 0,6/1kV. Como os circuitos são trifásicos, deve haver pelo menos 3 (três) veias, uma para cada fase. Dessa forma, os valores dos cabos monopolares deverão ser multiplicados 3 (três). Os valores são mostrados na tabela a seguir:

Tabela 3 – Valor dos cabos por tipo de isolação considerando as equivalências

| Especificação do cabo | Valor (R\$/m) | Valor equivalente 3 veias (R\$/m) |
|---|----------------------|--|
| 3 * PVC (1x10,0mm ²) (0,6/1 kV) | 9,87 | 29,61 |
| HEPR (3x6,0mm ²) (0,6/1 kV) | 20,35 | 20,35 |
| HEPR (3x10,0mm ²) (0,6/1 kV) | 32,78 | 32,78 |
| XLPE (1x4,0mm ²) (0,6/1 kV) | N/A | N/A |
| XLPE (1x10,0mm ²) (0,6/1 kV) | N/A | N/A |

Fonte: Autoria própria (2026)

Realizando uma comparação dos preços tem-se que:

- Para os cabos de 10 mm²:

$$\Delta \% Cabo_{10mm^2} = \frac{(Valor_{HEPR} - Valor_{PVC})}{Valor_{PVC}} \times 100 = \frac{(32,78 - 29,61)}{29,61} \times 100$$

Obtém-se uma diferença percentual de:

$$\Delta \% Cabo_{10mm^2} \cong 10,71\%$$

Ou seja, há um aumento nos custos de aquisição de cerca de 10% ao usar o cabo isolado em HEPR se comparado ao PVC, tomando como base os cabos de área de seção de 10mm².

5.3.2. Custos de manutenção

Conforme visto anteriormente, é de grande importância a manutenção no sistema elétrico, de forma a manter a instalação segura e eficiente, minimizando perdas e, consequentemente, reduzindo custos.

Ao usar o cabo isolado em PVC no ambiente da secadora, ocorrerão constantes danos nos cabos, exigindo mais paradas de produção para manutenção, demandando mais mão de obra por parte da equipe de manutenção e, consequentemente, acarretando maiores custos de reparo ou mesmo troca desses cabos.

5.3.3. Custos por perdas de energia elétrica

Quando a instalação de fios e cabos ocorre ao longo de trechos com condições de dissipação térmica variam, a corrente admissível deve ser definida com base no segmento que apresenta a pior condição de resfriamento, pois ele passa a limitar a capacidade de condução do circuito. Para temperaturas ambientes acima de 30 °C, os fatores de correção tornam-se menores que 1 e, ao serem aplicados às tabelas de ampacidade, reduzem a capacidade de corrente dos condutores; isso ocorre porque a redução da corrente diminui as perdas por efeito Joule, preservando as condições de serviço do cabo. (Mamede Filho, 2017, p. 158)

Observando-se as características de resistência do material corrigida para a temperatura ambiente, extraídas do Anexo A, para cada tipo de material isolante, em cada setor, tem-se que:

Tabela 4 – Resistências elétricas à 20°C e corrigidas para as temperaturas de operação

| Setor | Temp. (°C) | Resistência elétrica (Ω/km) | | |
|----------|------------|-----------------------------|--------|--------|
| | | PVC | HEPR | XLPE |
| Secadora | 20 | N/A | 4,21 | 5,88 |
| | 80 | N/A | 5,2025 | 7,2662 |
| Forno | 20 | 2,29 | 2,44 | 2,33 |
| | 45 | 2,5150 | 2,6797 | 2,5589 |

Fonte: Autoria própria (2026)

Realizando uma comparação da variação da resistência do material, tem-se que:

- Para os cabos de HEPR da secadora:

$$\Delta R_{\%} \text{ Cabo Secadora}_{HEPR} = \frac{(R_{80}-R_{20})}{R_{20}} \times 100 = \frac{(5,2025-4,21)}{4,21} \times 100 = 23,575\%$$

- Para os cabos de XLPE da secadora:

$$\Delta R_{\%} \text{ Cabo Secadora}_{XLPE} = \frac{(R_{80}-R_{20})}{R_{20}} \times 100 = \frac{(7,2662-5,88)}{5,88} \times 100 = 23,575\%$$

- Para os cabos de PVC do forno:

$$\Delta R_{\%} \text{ Cabo Forno}_{PVC} = \frac{(R_{45}-R_{20})}{R_{20}} \times 100 = \frac{(2,5150-2,29)}{2,29} \times 100 = 9,825\%$$

- Para os cabos de HEPR do forno:

$$\Delta R_{\%} \text{ Cabo Forno}_{HEPR} = \frac{(R_{45}-R_{20})}{R_{20}} \times 100 = \frac{(2,6797-2,44)}{2,44} \times 100 = 9,824\%$$

- Para os cabos de XLPE do forno:

$$\Delta R_{\%} \text{ Cabo Forno}_{XLPE} = \frac{(R_{45} - R_{20})}{R_{20}} \times 100 = \frac{(2,5589 - 2,33)}{2,33} \times 100 = 9,824\%$$

Organizando os dados em uma tabela, tem-se que:

Tabela 5 – Variação percentual da resistência elétrica dos setores

| Setor | Variação percentual da resistência elétrica ($\Delta R_{\%}$) | | |
|-----------------|---|--------|--------|
| | PVC | HEPR | XLPE |
| Secadora | N/A | 23,575 | 23,575 |
| Forno | 9,825 | 9,824 | 9,824 |

Fonte: Autoria própria (2026)

Ou seja, a resistência do material condutor, no caso estudado, o cobre, aumenta conforme o aumento da temperatura de operação do cabo elétrico. Dessa forma, ocorrerão mais perdas por efeito Joule, causando maiores custos devido à dissipação de energia elétrica na forma de calor, principalmente quando a temperatura for muito maior do que os 20° C “padrão” estabelecidos pela norma.

6. Resultados e discussão

O estudo avaliou dois trechos de instalação em ambiente industrial cerâmico com agentes agressivos ao desempenho dos cabos: a secadora, caracterizada por temperatura elevada e umidade (80 °C), e a região superior do forno, com temperatura ambiente de 45 °C e alta

presença de poeira. Essas condições afetam diretamente a capacidade de condução de corrente, a estabilidade térmica da isolação, as perdas elétricas e a demanda de manutenção.

Na secadora, verificou-se que cabos com isolação em PVC não constituem alternativa tecnicamente adequada devido à limitação térmica e ao potencial de degradação acelerada do material. Para este setor, a solução compatível foi o uso de isolação do tipo EPR/XLPE, cuja seção final resultou em 2,5 mm². Observou-se que o fator de correção por temperatura é determinante nesse ambiente, pois em 80 °C o FCT de 0,41 reduz significativamente a ampacidade e reforça que a escolha do tipo de isolação é a variável crítica para garantir operação segura e durável.

No trecho associado ao forno, tanto PVC quanto EPR/XLPE conduziram à mesma seção final de 4,0 mm². Nesse caso, apesar de a ampacidade permitir seções menores, o critério que governou o dimensionamento foi a queda de tensão durante a partida do motor, impondo aumento da seção para atendimento dos limites de desempenho do circuito. Além disso, a poeira foi considerada um fator relevante por reduzir a dissipação térmica e, conseqüentemente, aumentar a necessidade de inspeções e limpezas periódicas para evitar aquecimento indevido.

Na análise econômica, os preços de referência indicaram que o cabo HEPR apresenta custo de aquisição aproximadamente 6,5% a 7,0% superior ao do PVC nas seções consideradas. Entretanto, na secadora essa diferença perde relevância, pois o PVC não se mantém como alternativa viável no ambiente definido; assim, a decisão se orienta pela confiabilidade e vida útil, e não apenas pelo menor custo. Já no forno, como o dimensionamento final converge para a mesma seção, a escolha tende a depender do equilíbrio entre custo inicial, riscos operacionais associados à poeira e estratégia de manutenção adotada.

O impacto da temperatura sobre as perdas por efeito Joule, uma vez que a resistência elétrica do cobre aumenta com a elevação térmica, elevando perdas e custos operacionais. Os resultados consolidados mostram aumento de resistência de aproximadamente 23,576% ao passar de 20 °C para 80 °C no cenário da secadora e de 9,844% ao passar de 20 °C para 45 °C no cenário do forno, reforçando que, em ambientes mais severos, a gestão térmica e a escolha correta da isolação são determinantes para o custo total e a confiabilidade do sistema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 273 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7286**: Cabos de potência com isolamento extrudado de borracha etilenopropileno (EPR, HEPR ou EPR 105) para tensões de 1 kV a 35 kV — Requisitos de desempenho. 2 ed. 2015. 10 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/qdownload/nbr-7206-pdf-free.html>. Acesso em: 19 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7287**: Cabos de potência com isolamento extrudado de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 20 p. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/nbr-7287pdf-pdf-free.html>. Acesso em: 01 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 247-1:2006**: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive - Parte 1 - Requisitos gerais (IEC 60227-1, MOD). 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 33 p. Disponível em: <https://www.amn.org.br/Content/Arquivos/normasEprojetos/NM%2000247-1%20C.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CONDVOLT FIOS E CABOS ELÉTRICOS ESPECIAIS (São Paulo / SP). **O impacto do superaquecimento na eficiência dos cabos elétricos**. São Paulo / SP: Condvolt Fios e Cabos Elétricos Especiais, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://condvolt.com.br/impacto-do-superaquecimento/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

COTRIM, Ademaro A.M.B.. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 511 p. Revisão e adaptação técnica José Aquiles Baesso Gromoni e Hilton Moreno. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/qdownload/instalacoes-eletricas-cotrim-5-ed-8-pdf-free.html>. Acesso em: 01 maio 2025.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 502 p. Atualização e revisão: Luiz Sebastião Costa. Disponível em: https://www.academia.edu/105560153/Instala%C3%A7%C3%B5es_El%C3%A9tricas_16a_edi%C3%A7%C3%A3o_CREDEr_H%C3%A9lio. Acesso em: 08 fev. 2025.

HSIN, Ana Livia Ku Chih; IMAI, Fernando. **Estudo de caso comparativo entre os métodos de dimensionamento de condutores elétricos propostos pelas normas NBR 5410 e NBR 15920 em circuitos das instalações da UTFPR, Câmpus Curitiba**. 2014. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/9863/2/CT_COELE_2013_2_21.pdf. Acesso em: 27 ago. 2025.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**: De acordo com a Norma Brasileira NBR 5419:2015. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 1292 p. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/instalacoes-eletricas-industriais-9-ed-mamede-pdf-free.html>. Acesso em: 10 mar. 2025.

PAULA, João José Alves de. **Cabos elétricos de potência**: Dimensionamento. 1. ed. São Paulo / SP: Blucher, 2023. 455 p. ISBN 9786555066494. Acesso em: 6 jan. 2026.

RODOLFO JUNIOR, Antonio *et al.* **Tecnologia do PVC**. 2. ed. São Paulo: Proeditores / Braskem, 2006. 450 p. ISBN 85-7165-014-4. Disponível em:

https://www.braskem.com/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Tecnologia%20do%20PVC%20a%20edi%C3%A7%C3%A3o_22.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 2020, Online. **Diagnóstico de Degradação de Isolamento de Cabos Elétricos de Baixa Tensão por Análise de Imagem e Classificação por Rede Neural Artificial** [...]. Online: Sociedade Brasileira de Automática, 2021. 7 p. DOI <https://doi.org/10.48011/sbse.v1i1.2296>. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2296. Acesso em: 29 dez. 2025.

ANEXOS

Anexo A – Folha de cálculos do dimensionamento dos cabos elétricos

A folha de cálculos pode ser acessada através do seguinte link:

https://github.com/GianOliveiraFavaretto/TCC-FHO-EngenhariaEletrica/blob/main/AnexoA_Calculos_TCC_GianDacioDeOliveiraFavaretto_107745_versao1.3.pdf

Anexo B – Sites de referência de preço dos cabos elétricos pela base de dados do SINAPI

<https://orcamentador.com.br/>

<https://orcamentor.com/>