

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE RAMAL ALIMENTADOR INDUSTRIAL DE
LONGA DISTÂNCIA EM SISTEMA DE BAIXA TENSÃO VERSUS MÉDIA
TENSÃO**

Zuriel Davi Gazoni¹
Poliana Schneider Durigon²
Maico Fernando Wilges Carneiro³
Simone Merlini⁴

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre alimentadores em baixa tensão 380V e média tensão 13,8KV aplicados a uma instalação industrial com potência de 2000KVA e distância aproximada de 200 metros entre o ponto de entrega e o centro de carga. O estudo foi desenvolvido com base nos critérios das normas ABNT NBR 5410:2004 e ABNT NBR 14039:2021, considerando parâmetros como corrente nominal, capacidade de condução de corrente, queda de tensão, suportabilidade térmica ao curto-circuito e quantitativos de materiais necessários para implantação dos sistemas. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre as alternativas analisadas, principalmente em relação à quantidade de condutores e infraestrutura requerida. No sistema em baixa tensão, verificou-se a necessidade da utilização de múltiplos condutores em paralelo, enquanto no sistema em média tensão foi possível atender às condições do estudo utilizando apenas um cabo por fase. No comparativo financeiro, a solução em média tensão apresentou custo estimado equivalente a aproximadamente 7,01% do valor necessário para implantação do sistema em baixa tensão.

Palavras-chave: Baixa tensão; Média tensão; Dimensionamento elétrico; alimentadores industriais; Queda de tensão.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do setor industrial brasileiro tem elevado expressivamente a demanda por potência elétrica instalada, exigindo soluções de alimentação que conciliem desempenho técnico, segurança e racionalidade econômica. Quando o ponto de entrega de energia se encontra afastado do centro de carga, a definição do nível de tensão de fornecimento passa a exercer influência direta sobre parâmetros fundamentais do projeto elétrico, como corrente de operação, seção dos condutores, perdas técnicas e comportamento do sistema frente a curtos-circuitos. Conforme discute Mamede Filho (2017), o arranjo do sistema de distribuição interna em instalações industriais deve ser definido a partir de critérios técnicos bem

¹ Graduando em Engenharia Elétrica (UCEFF, 2026). E-mail: zuriel.gazoni@uceff.edu.br

² Pós-graduada em engenharia elétrica pela UNIOESTE - E-mail: poliana.durigon@uceff.edu.br

³ Docente da UCEFF Faculdades.

⁴ Docente da UCEFF Faculdades.

estabelecidos, pois essa decisão repercute na confiabilidade do processo produtivo e nos custos globais do empreendimento.

Em sistemas de baixa tensão, tipicamente 380/220V, o atendimento de potências elevadas implica correntes de grande magnitude, exigindo condutores de elevada seção transversal e gerando maior dissipação térmica e perdas por efeito Joule (Halliday; Resnick; Walker, 2016). De acordo com a ABNT (2004), o dimensionamento deve atender simultaneamente aos critérios de capacidade de condução de corrente, queda de tensão e suportabilidade térmica ao curto-circuito condições que se tornam críticas em alimentadores de maior extensão. A elevação para média tensão reduz significativamente a corrente circulante para uma mesma potência transportada, alterando de forma substancial o comportamento elétrico do sistema, conforme requisitos da ABNT NBR 14039:2021. A decisão entre as duas alternativas não se limita ao atendimento normativo, mas exige avaliação integrada da distância do ramal, da potência instalada e das implicações técnicas e operacionais de cada solução (Machado, 2017).

Diante dessas premissas, este estudo formula a seguinte questão de pesquisa: **Para a alimentação de uma indústria com demanda de 2.000KVA situada a aproximadamente 200 metros do ponto de entrega da concessionária, é economicamente mais viável adotar um ramal alimentador em baixa tensão 380V ou realizar o fornecimento em média tensão 13,8KV com transformação local?** O objetivo geral consiste em analisar a viabilidade econômica das duas alternativas, considerando seus impactos no dimensionamento dos condutores, nas perdas elétricas, na queda de tensão e nas condições de curto-circuito. A relevância do tema reside na frequência com que tais decisões são tomadas em projetos industriais com base apenas em critérios empíricos, sem a devida análise comparativa fundamentada, tornando este estudo uma contribuição objetiva para a tomada de decisão em projetos elétricos industriais de elevada potência.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

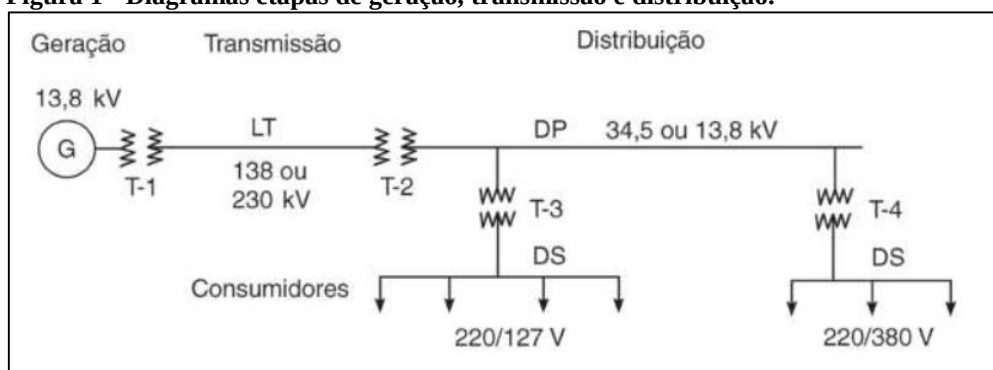
2.1 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os sistemas de energia elétrica são estruturados em três etapas principais: geração, transmissão e distribuição. A geração é responsável pela produção da energia elétrica a partir de diferentes fontes, como hidrelétricas, termelétricas e fontes renováveis. Após a geração, a energia é transportada em níveis elevados de tensão por meio dos sistemas de transmissão, com

o objetivo de reduzir perdas ao longo de grandes distâncias. Por fim, a etapa de distribuição realiza a entrega da energia aos consumidores finais, adequando os níveis de tensão conforme a necessidade de cada tipo de carga (Creder, 2016).

A Figura 1 ilustra de forma simplificada essa estrutura, evidenciando o percurso da energia desde a geração, passando pelos sistemas de transmissão em alta tensão, até chegar aos níveis de distribuição, onde ocorre a adequação da tensão para atendimento dos consumidores finais em baixa tensão.

Figura 1 - Diagramas etapas de geração, transmissão e distribuição.



Fonte: Adaptado de Creder (2016).

No contexto das instalações industriais, o sistema de distribuição assume papel essencial, pois deve garantir fornecimento contínuo, seguro e com qualidade adequada. As unidades consumidoras podem ser atendidas em baixa ou média tensão, sendo essa definição influenciada principalmente pela potência instalada e pelas características da carga. De acordo com Mamede Filho (2017), a escolha do nível de tensão está diretamente relacionada às condições técnicas do sistema, à demanda energética e à viabilidade econômica da instalação.

Além disso, a distribuição de energia elétrica representa a interface direta entre o sistema elétrico e o consumidor final, sendo responsável por assegurar que a energia seja fornecida dentro dos padrões de qualidade e confiabilidade exigidos. Nesse sentido, o correto planejamento do sistema de distribuição é fundamental para o bom desempenho das instalações industriais, especialmente em aplicações que demandam elevados níveis de potência e continuidade operacional (Mamede Filho, 2017).

2.2 NÍVEIS DE TENSÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS

No Brasil, os sistemas elétricos são classificados conforme faixas padronizadas por normas técnicas: a ABNT NBR 5410:2004 define baixa tensão para sistemas até 1.000V em

corrente alternada, enquanto a ABNT NBR 14039:2021 abrange a média tensão, entre 1KV e 36,2KV. Em sistemas de baixa tensão, o atendimento de cargas elevadas resulta em correntes significativas, impactando o dimensionamento dos condutores e aumentando as perdas ao longo do sistema. Em sistemas de média tensão, como os de 13,8KV, a mesma potência pode ser transmitida com correntes reduzidas, favorecendo menores perdas elétricas e o uso de condutores com menor seção (Mamede Filho, 2005).

No contexto industrial, a escolha entre baixa e média tensão vai além do atendimento normativo, exigindo análise conjunta de aspectos elétricos, construtivos e econômicos. Instalações com maior demanda de potência ou maiores distâncias entre o ponto de entrega e o centro de carga tendem a se beneficiar de níveis mais elevados de tensão, tornando essa definição uma etapa estratégica no planejamento elétrico, com influência direta sobre o desempenho, a eficiência energética e os custos de implantação da instalação.

2.3 ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO

A alimentação elétrica em baixa tensão, com tensões padronizadas de 380/220V, é amplamente utilizada em instalações industriais de pequeno e médio porte, destacando-se pela simplicidade de implementação, facilidade de operação e manutenção e menor complexidade nos sistemas de proteção e manobra (ABNT, 2004). Entretanto, à medida que a potência demandada aumenta, surgem limitações técnicas relevantes: a operação em níveis reduzidos de tensão implica correntes mais elevadas, impactando diretamente o dimensionamento dos condutores e os critérios de instalação elétrica (ABNT, 2004; Creder, 2016).

O aumento da corrente elétrica exige condutores com maior seção transversal para atender aos limites térmicos de operação, considerando a temperatura suportada pelo isolamento e as condições de funcionamento do sistema. Correntes elevadas também contribuem para o aumento das perdas elétricas ao longo do alimentador, e o dimensionamento deve contemplar fatores como método de instalação, agrupamento de circuitos e condições ambientais, que influenciam diretamente a capacidade de condução dos cabos (Barroso, 2022).

Outro aspecto crítico é a queda de tensão, que tende a ser mais pronunciada em sistemas de baixa tensão com maiores distâncias entre fonte e carga, podendo comprometer o funcionamento adequado dos equipamentos e exigir critérios mais rigorosos de dimensionamento (ABNT, 2004). Sob o ponto de vista construtivo, a necessidade de cabos de grande seção pode dificultar a instalação física em leitos, eletrocalhas ou dutos, aumentando a complexidade de execução e os custos da instalação (Creder, 2016).

Dessa forma, embora a baixa tensão apresente vantagens em termos de simplicidade e ampla aplicação, sua utilização em cenários industriais com elevada demanda de potência e maiores distâncias deve ser cuidadosamente avaliada, pois as limitações associadas ao aumento da corrente, às perdas elétricas, à queda de tensão e às dificuldades construtivas tornam esse sistema menos atrativo em determinadas condições.

2.4 ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA EM MÉDIA TENSÃO

A alimentação em média tensão é amplamente empregada em instalações industriais de médio e grande porte, operando tipicamente em 13,8KV no Brasil. De acordo com a ABNT NBR 14039:2021, esse tipo de instalação exige critérios específicos de projeto, operação e proteção. Sua principal vantagem está na transmissão de maiores potências com correntes reduzidas: o aumento do nível de tensão diminui a corrente necessária para o atendimento da carga, reduzindo as perdas elétricas ao longo do sistema e possibilitando o uso de condutores com menor seção transversal em relação a sistemas equivalentes em baixa tensão (Sadiku, 2013).

Em sistemas industriais, a média tensão normalmente está associada à implantação de subestações internas com transformadores, sistemas de proteção e equipamentos de manobra, que proporcionam maior flexibilidade operacional e contribuem para a confiabilidade do fornecimento (Mamede Filho, 2011). Em alimentadores de maior extensão, essa alternativa tende a apresentar melhor desempenho elétrico, especialmente em relação à queda de tensão e às perdas ao longo do circuito, tornando-se tecnicamente mais adequada em aplicações com maior porte ou layout distribuído (Mamede Filho, 2005).

Entretanto, a adoção da média tensão implica maior complexidade de implantação, exigindo equipamentos específicos, sistemas de proteção mais elaborados e atendimento a requisitos normativos mais rigorosos. Dessa forma, a escolha por esse nível de tensão deve considerar não apenas os benefícios técnicos, mas também os aspectos econômicos e construtivos da instalação, devendo ser avaliada de forma integrada no desenvolvimento do projeto elétrico (ABNT, 2021).

2.5 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES

O dimensionamento de condutores elétricos representa uma das etapas mais relevantes no desenvolvimento de projetos de instalações elétricas, sendo fundamental para garantir a

segurança, eficiência e confiabilidade do sistema. Esse processo consiste na definição da seção adequada dos cabos elétricos, levando em consideração as condições de operação, os limites térmicos dos materiais e os critérios estabelecidos pelas normas técnicas aplicáveis. Nesse contexto, a ABNT NBR 5410 estabelece os requisitos para instalações em baixa tensão, enquanto guias técnicos complementares auxiliam na correta aplicação desses critérios (Eletricidade Moderna, 2001).

De forma geral, o dimensionamento dos condutores está diretamente associado à corrente de projeto do sistema, que representa a máxima corrente que o circuito deverá conduzir em condições normais de operação. Segundo Rocha (2021), essa corrente é utilizada como base para a seleção dos cabos e dispositivos de proteção, garantindo que os componentes operem dentro de seus limites e evitando situações de sobrecarga e aquecimento excessivo.

Para sistemas trifásicos, amplamente utilizados em instalações industriais, a corrente de projeto pode ser determinada a partir da relação entre potência, tensão e fator de potência da carga, conforme apresentado na Equação (1):

Circuito Trifásico:

$$I_P = \frac{P_C}{V_f \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\varphi)} \quad (1)$$

Onde:

I_P = Corrente Elétrica de Projeto em Ampéres;

P_C = Potência de Carga em Watts (W);

V_f = Tensão de Linha em Volts (V), para circuitos trifásicos;

$\cos(\varphi)$ = Fator de Potência da Carga.

A determinação correta da corrente de projeto é essencial, pois todos os critérios subsequentes de dimensionamento estão diretamente associados a esse valor, influenciando a escolha da seção dos condutores e dos dispositivos de proteção. Conforme estabelece as diretrizes de baixa tensão (Eletricidade Moderna, 2001), a correta aplicação dessas relações contribui para maior confiabilidade e segurança no projeto das instalações elétricas.

Além da corrente elétrica, a capacidade de condução dos condutores depende diretamente das condições de instalação, como temperatura ambiente, agrupamento de circuitos e método de instalação adotado. Conforme destacado por Barreto (2025), esses fatores influenciam diretamente a dissipação térmica dos cabos, sendo necessário aplicar fatores de

correção para assegurar que os condutores operem dentro das condições adequadas de segurança.

Os métodos de instalação de condutores definidos pela norma ABNT NBR 5410 incluem diferentes formas de disposição dos cabos, como eletrodutos embutidos, bandejas, eletrocaldas e leitos, conforme apresentado na tabela 33 da norma. Cada método está associado a condições térmicas específicas que influenciam diretamente a capacidade de condução de corrente dos condutores, sendo necessário considerar também fatores como temperatura ambiente e agrupamento de circuitos, que podem reduzir significativamente a capacidade dos cabos e exigir o uso de seções maiores para garantir a segurança da instalação elétrica.

A avaliação da capacidade de condução de corrente deve considerar o regime contínuo de operação, aplicável a sistemas em corrente contínua e alternada, normalmente em frequências de 50 ou 60 Hz. Para representar adequadamente as condições reais de funcionamento, a ABNT NBR 5410 estabelece fatores de correção relacionados ao método de instalação, temperatura ambiente e agrupamento de circuitos, obtidos por meio das tabelas 36, 40 e 42. A aplicação desses parâmetros permite ajustar corretamente a capacidade de condução dos condutores às condições efetivas da instalação elétrica.

Dessa forma, os fatores de correção podem ser incorporados ao cálculo da capacidade de condução conforme apresentado na Equação (2):

$$\text{Capacidade de condução} = I * F_T * F_{agr} \quad (2)$$

Sendo:

I = Corrente do condutor pré-determinado pelo projetista conforme tabelas da NBR 5410;

F_T = Fator de correção de temperatura conforme tabela 40 da NBR 5410;

F_{agr} = Fator de agrupamento conforme tabela 42 da NBR 5410;

Ainda podemos considerar, dados como o fator de resistividade do solo e o fator de isolamento do condutor, estes que para a aplicação neste artigo foram consideradas como 1.

Segundo Rocha (2021), a não consideração desses fatores pode resultar em subdimensionamento dos cabos, comprometendo a segurança e a vida útil da instalação elétrica.

No contexto das instalações industriais, o cobre é amplamente utilizado como material condutor devido à sua elevada condutividade elétrica e boas características mecânicas. Conforme apresentado por Barbosa (2012), esse material possui propriedades que favorecem sua aplicação em sistemas elétricos, contribuindo para maior eficiência e durabilidade das

instalações.

Além dos aspectos técnicos, também devem ser considerados requisitos de segurança durante o dimensionamento e execução das instalações elétricas. Nesse sentido, a Norma Regulamentadora NR-10 estabelece diretrizes relacionadas à segurança em serviços com eletricidade, reforçando a importância de projetos bem dimensionados e executados conforme critérios técnicos adequados (Brasil, 2004).

Dessa forma, o dimensionamento de condutores elétricos deve ser realizado de maneira integrada, considerando simultaneamente critérios elétricos, térmicos e construtivos. A correta aplicação desses critérios é essencial para assegurar a segurança operacional, a eficiência energética e a confiabilidade das instalações elétricas, especialmente em sistemas industriais que demandam elevados níveis de potência (Prysmian, 2020; Rocha, 2021).

2.6 QUEDA DE TENSÃO EM ALIMENTADORES

Na engenharia elétrica, a queda de tensão é a redução da tensão ao longo de um condutor devido principalmente à sua resistência elétrica e à distância entre a fonte e a carga. Esse fenômeno ocorre pela dissipação de energia em forma de calor durante a passagem da corrente elétrica, podendo comprometer o desempenho dos equipamentos alimentados. Segundo a ABRACOPEL (2024), a desconsideração da queda de tensão no dimensionamento elétrico pode causar problemas operacionais, redução da eficiência e falhas no funcionamento das cargas.

De acordo com a ABNT NBR 5410, a queda de tensão deve permanecer dentro de limites máximos admissíveis, geralmente de até 7% em instalações alimentadas por transformadores e até 5% em fornecimentos em baixa tensão a partir do ponto de entrega. Por isso, após o dimensionamento dos condutores pela capacidade de condução de corrente, é essencial verificar a queda de tensão do circuito, pois, em instalações com maiores distâncias, pode ser necessário aumentar a seção dos condutores para garantir o funcionamento adequado e a qualidade do fornecimento de energia.

A Figura 2 ilustra de forma simplificada a distribuição da queda de tensão ao longo de um sistema elétrico, desde o ponto de transformação até as cargas finais. Observa-se que a queda de tensão ocorre de forma acumulativa ao longo dos trechos do circuito, sendo influenciada pelas características dos condutores e pelas correntes demandadas em cada ponto do sistema.

Figura 2 - Queda de Tensão máxima admitida a partir do ponto de transformação.



Fonte: Mamede Filho (2017).

Para o cálculo da queda de tensão em circuitos trifásicos, pode-se utilizar a relação que considera os parâmetros elétricos do condutor, como resistência e reatância, além da corrente e do comprimento do circuito. Conforme apresentado no guia de dimensionamento de cabos da Prysmian (2020), a queda de tensão pode ser determinada pela Equação (3):

$$\Delta V_c (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I_B \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)}{V_{ff} \cdot N_{cf} \cdot 10} \quad (3)$$

Onde:

ΔV_c = queda de tensão percentual (%);

V_{ff} = tensão nominal fase-fase (V);

l = comprimento do circuito (m);

I_B = corrente de projeto (A);

R = resistência do condutor (mΩ/m);

X = reatância do condutor (mΩ/m);

$\cos \varphi$ = fator de potência da carga;

$\sin \varphi$ = componente reativa associada ao fator de potência;

N_{cf} = número de condutores em paralelo por fase.

Para fins de análise e verificação normativa, a queda de tensão deve ser expressa em termos percentuais de acordo com a ABNT NBR 5410:2004, permitindo sua comparação direta com os limites estabelecidos pelas normas técnicas. Sendo obtido os percentuais descritos pela equação 3.

Dessa forma, a análise da queda de tensão torna-se um dos principais critérios no dimensionamento de alimentadores elétricos, especialmente em instalações industriais com maiores distâncias entre a fonte e as cargas. A correta avaliação desse parâmetro permite

garantir o desempenho adequado do sistema, evitando perdas excessivas, mau funcionamento de equipamentos e garantindo a conformidade com os requisitos normativos aplicáveis.

2.7 CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

No dimensionamento de condutores elétricos, o conhecimento das correntes de curto-circuito é fundamental para a avaliação do comportamento do sistema em condições de falha. Essas correntes fornecem informações essenciais sobre os esforços térmicos aos quais os condutores estarão submetidos, podendo atingir valores significativamente superior à corrente nominal de operação, em alguns casos chegando a dezenas de vezes esse valor. Conforme destacado por Mamede Filho (2017), essa análise é indispensável para garantir que os condutores suportem tais solicitações sem comprometer a integridade da instalação.

Durante a ocorrência de um curto-circuito, a elevação abrupta da corrente provoca um rápido aumento de temperatura nos condutores. Entretanto, a determinação exata da temperatura inicial do condutor no instante da falha é complexa, uma vez que depende de fatores como carregamento prévio, condições ambientais e características de instalação. Por essa razão, adota-se, de forma conservadora, a temperatura máxima admissível do condutor em regime permanente como referência para os cálculos, garantindo maior segurança no dimensionamento (Prysmian, 2020).

A verificação da suportabilidade térmica dos condutores pode ser realizada por meio de expressões que relacionam a corrente de curto-circuito, a seção do condutor e o tempo de atuação dos dispositivos de proteção. Para condutores de cobre ou alumínio, essa relação pode ser expressa conforme a Equação (4):

$$I_{cc} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

Onde:

I_{cc} = corrente de curto-circuito suportável (A)

K = constante do material (depende da resistividade e calor específico);

S = Seção do condutor em mm²;

t = Tempo de atuação da proteção em segundo (sendo o tempo máximo admitido em normativa é de 5s).

O fator K depende das propriedades físicas do material, como resistividade elétrica e calor específico, podendo ser obtido por meio de normas técnicas ou catálogos de fabricantes. Já o tempo de atuação da proteção está diretamente relacionado à coordenação dos dispositivos de proteção do sistema, sendo usualmente limitado a valores máximos estabelecido pela ABNT NBR 5410:2004 em norma, comumente adotando-se até 5 segundos em condições específicas de projeto.

Dessa forma, a análise das correntes de curto-circuito permite verificar se os condutores são capazes de suportar os efeitos térmicos associados às condições de falha, garantindo a segurança e a confiabilidade da instalação elétrica. No contexto deste estudo, essa verificação será considerada como um dos critérios técnicos para comparação entre os sistemas em baixa e média tensão, especialmente em função dos elevados níveis de correntes presentes em sistemas industriais (Mamede Filho, 2011).

2.8 PERDAS ELÉTRICAS EM CONDUTORES

As perdas elétricas em condutores ocorrem devido à resistência elétrica dos materiais, fenômeno conhecido como efeito Joule, no qual parte da energia elétrica é dissipada em forma de calor. Essas perdas afetam diretamente a eficiência dos sistemas elétricos e aumentam conforme a intensidade da corrente elétrica que percorre os condutores. Em sistemas de baixa tensão, a necessidade de correntes mais elevadas para transmissão de grandes potências tende a aumentar significativamente essas perdas, enquanto em sistemas de média tensão a corrente é reduzida, proporcionando maior eficiência energética (Halliday; Creder, 2016).

Além da corrente elétrica, fatores físicos dos condutores também influenciam nas perdas elétricas, como material, comprimento e seção transversal. Condutores mais longos apresentam maior resistência elétrica, intensificando a dissipação de energia, enquanto cabos com menor seção transversal também aumentam as perdas. Dessa forma, a escolha adequada do tipo e das dimensões dos condutores é fundamental para garantir melhor desempenho e eficiência no sistema elétrico (Mamede Filho, 2017; ABNT, 2004).

Em instalações industriais, especialmente em alimentadores de grande extensão, as perdas elétricas podem representar parcela significativa da energia transportada, impactando diretamente os custos operacionais e a eficiência energética. Por isso, a análise dessas perdas deve ser considerada ainda na fase de projeto, principalmente em estudos comparativos entre sistemas de baixa e média tensão, nos quais a relação entre tensão e corrente é determinante para o desempenho operacional da instalação (ABNT, 2004).

2.9 CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA ESCOLHA DO NÍVEL DE TENSÃO

A definição do nível de tensão em instalações industriais é uma etapa essencial dos projetos elétricos, pois influencia diretamente o desempenho técnico, a eficiência energética e os custos do sistema. Essa escolha deve considerar fatores como potência instalada, distância do alimentador, características das cargas e exigências operacionais da instalação. Em sistemas de baixa tensão, cargas elevadas exigem correntes maiores, aumentando limitações relacionadas ao dimensionamento dos condutores, às perdas elétricas e à queda de tensão (ABNT, 2004).

A distância entre o ponto de entrega da concessionária e o centro de carga também é um fator importante. Em alimentadores longos, sistemas em baixa tensão tendem a apresentar maiores perdas elétricas e quedas de tensão, tornando-se menos eficientes. Já os sistemas em média tensão reduzem a corrente elétrica necessária para transmitir a mesma potência, melhorando o desempenho da instalação e reduzindo os impactos ao longo do percurso (ABNT, 2021).

Outro aspecto relevante envolve o dimensionamento dos condutores e a coordenação dos dispositivos de proteção. Em baixa tensão, correntes elevadas podem exigir cabos de grande seção transversal ou múltiplos condutores em paralelo, aumentando a complexidade e os custos da instalação. Além disso, as correntes de curto-circuito podem ser mais elevadas, demandando equipamentos mais robustos. Em média tensão, apesar da redução da corrente e da possibilidade de utilizar cabos menores, há necessidade de equipamentos específicos e sistemas de proteção mais complexos (Mamede Filho, 2017).

Do ponto de vista da eficiência energética, sistemas em média tensão apresentam vantagens em aplicações com grandes potências e longas distâncias, devido à redução das perdas elétricas. No entanto, sua implantação exige maior complexidade técnica e atendimento a requisitos normativos mais rigorosos, como os previstos na ABNT NBR 14039 (2021). Assim, a escolha entre baixa e média tensão deve considerar conjuntamente critérios técnicos, econômicos e operacionais para garantir um sistema eficiente, seguro e adequado às necessidades da instalação industrial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

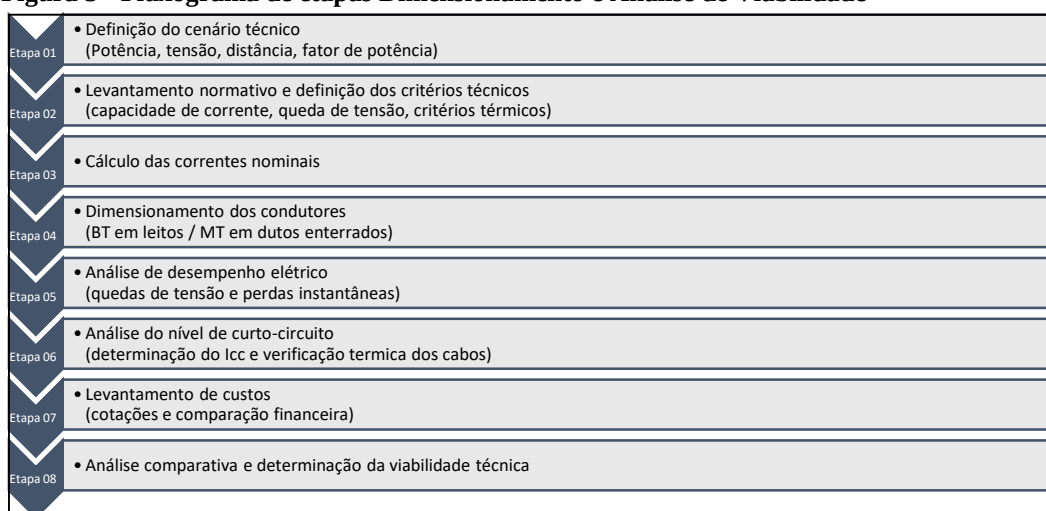
O presente estudo foi desenvolvido por meio de um estudo de caso hipotético, com abordagem comparativa e analítica, com o objetivo de avaliar duas alternativas de alimentação

elétrica para um ramal industrial com potência de 2.000KVA. O cenário considerado adotou alimentação em baixa tensão de 380V e em média tensão de 13,8KV, para uma distância aproximada de 200 metros entre o ponto de entrega da concessionária e o transformador da instalação. Esse cenário foi definido com base em situações frequentemente encontradas em projetos de instalações elétricas industriais.

A análise foi realizada com base em cálculos elétricos e nos critérios estabelecidos pelas normas técnicas aplicáveis às instalações elétricas de baixa e média tensão, principalmente a ABNT NBR 5410:2004 e a ABNT NBR 14039:2021. Também foram utilizados dados técnicos de catálogos de fabricantes de cabos elétricos e literatura da área de engenharia elétrica, que serviram de base para o dimensionamento dos condutores e para a verificação das condições de operação do sistema.

Como forma de organizar as etapas do estudo, foi elaborado um fluxograma com a sequência das atividades desenvolvidas ao longo da pesquisa, conforme apresentado abaixo na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma de etapas Dimensionamento e Análise de Viabilidade



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Inicialmente foram definidos os parâmetros do cenário técnico, como potência instalada, níveis de tensão, distância do alimentador e fator de potência adotado no estudo. A partir desses dados foram calculadas as correntes nominais para cada alternativa de alimentação. Com esses valores foi realizado o dimensionamento dos condutores em cobre, considerando critérios como capacidade de condução de corrente, método de instalação e limites de queda de tensão previstos nas normas técnicas. Para o sistema em baixa tensão foi considerada a instalação em leitos metálicos, enquanto para o sistema em média tensão foi considerada a instalação em dutos

enterrados.

Na sequência foram realizados os cálculos relacionados ao comportamento elétrico dos alimentadores, incluindo a verificação da queda de tensão ao longo do circuito, as perdas elétricas instantâneas por efeito Joule e a análise do nível de curto-circuito do sistema, permitindo verificar se os condutores dimensionados atendem aos critérios térmicos de segurança.

Também foi realizado um levantamento comparativo de custos entre as duas alternativas de alimentação. Para isso foram consideradas cotações de cabos e materiais utilizados na implantação dos alimentadores, obtidas em catálogos técnicos e junto a fornecedores do setor elétrico.

Por fim, os resultados obtidos foram analisados de forma comparativa, considerando variáveis como corrente nominal, seção dos cabos, queda de tensão, perdas elétricas e custo estimado de implantação. Essa comparação permitiu identificar qual solução apresenta melhor desempenho técnico, conforme apresentado na seção de Resultados e Discussões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise será conduzida com base nos critérios estabelecidos pelas normas técnicas aplicáveis e nos métodos de dimensionamento abordados na fundamentação teórica, contemplando aspectos como corrente nominal, dimensionamento dos condutores, queda de tensão, perdas elétricas e suportabilidade térmica frente às correntes de curto-circuito. Os resultados obtidos serão organizados de forma comparativa, possibilitando uma avaliação mais clara das vantagens e limitações de cada alternativa analisada.

Dessa forma, busca-se estabelecer uma análise econômica que permita compreender a influência do nível de tensão no desempenho elétrico do sistema, contribuindo para a tomada de decisão em projetos industriais que envolvam elevadas potências e maiores distâncias entre o ponto de alimentação e o centro de carga.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA O PROJETO

O presente estudo teve como base a realização de uma análise comparativa entre duas alternativas de alimentação elétrica aplicadas a uma instalação industrial, considerando o fornecimento em baixa tensão 380V e em média tensão 13,8KV. O cenário apresentado pelo cliente foi definido a partir de condições frequentemente encontradas em instalações industriais,

permitindo avaliar tecnicamente o comportamento de cada sistema frente às mesmas condições de operação.

Para o desenvolvimento da análise, foi considerada uma demanda instalada de 2.000KVA, com distância aproximada de 200 metros entre o ponto de entrega da concessionária e o centro de carga da instalação. A partir dessas informações foram realizados os cálculos elétricos necessários para o dimensionamento dos alimentadores, contemplando critérios relacionados à capacidade de condução de corrente, queda de tensão, perdas elétricas e suportabilidade térmica frente às correntes de curto-circuito.

O estudo foi desenvolvido considerando condutores de cobre para ambas as alternativas analisadas. Para o sistema em baixa tensão, adotou-se a utilização de cabos unipolares isolados em EPR 90°C, classe de tensão 0,6/1KV, instalados em leitos metálicos, conforme método de instalação F estabelecido pela Tabela 33 da ABNT NBR 5410:2004. Já para o sistema em média tensão, foram considerados cabos isolados para classe 8,7/15KV, instalados em dutos subterrâneos, conforme práticas normalmente empregadas em sistemas industriais de média tensão e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 14039:2021.

Além dos critérios normativos, também foram considerados fatores relacionados às condições de instalação, temperatura ambiente e parâmetros elétricos do sistema, permitindo estabelecer uma base técnica adequada para comparação entre as duas alternativas propostas ao longo deste estudo.

4.2 DESENVOLVIMENTO DE CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES EM BAIXA TENSÃO

A partir dos dados apresentados anteriormente, onde foram definidos parâmetros como potência instalada, distância do alimentador, nível de tensão e tipo de instalação, tornou-se possível iniciar os cálculos para o dimensionamento dos condutores dos sistemas em baixa e média tensão. Os cálculos desenvolvidos neste estudo têm como objetivo avaliar o comportamento técnico das duas alternativas de alimentação elétrica propostas para a instalação industrial analisada.

Para o dimensionamento dos condutores em baixa tensão foram considerados cabos de cobre com isolamento EPR 90°C, classe de tensão 0,6/1KV, conforme ABNT NBR 7286. A linha de cabos utilizada como referência para os parâmetros elétricos dos condutores foi baseada nos dados técnicos do fabricante Prysmian.

Para o dimensionamento dos condutores foram adotados alguns parâmetros comuns ao

cenário analisado, sendo eles:

- a. Fator de Potência: 0,92;
- b. Tensão trifásica: 380Vca;
- c. Queda de tensão máxima admissível de 2%, definida com o objetivo de garantir melhor desempenho elétrico ao alimentador analisado;
- d. Fator de correção de temperatura conforme Tabela 40 da ABNT NBR 5410:2004, considerando temperatura ambiente de 40°C para instalação em leitos metálicos;
- e. Fator de correção por agrupamento conforme Tabela 42 da ABNT NBR 5410:2004, considerando instalação dos circuitos em camada única sobre leito metálico;
- f. Método de instalação F, conforme Tabela 33 da ABNT NBR 5410:2004, referente à instalação de cabos unipolares em leitos, bandejas ou prateleiras metálicas;
- g. Limitação da seção dos condutores em 240mm², considerando critérios práticos normalmente adotados em instalações industriais de baixa tensão.

Para os condutores em baixa tensão foram considerados os critérios apresentados na ABNT NBR 5410:2004, utilizando o método de instalação F da Tabela 33, correspondente à instalação de cabos unipolares em leitos metálicos. Os critérios adotados para o dimensionamento dos condutores foram baseados na capacidade de condução de corrente e na verificação da queda de tensão, utilizando as Equações (3) e (4), apresentadas anteriormente na fundamentação teórica deste trabalho.

Para validação das equações apresentadas e demonstração do método de cálculo utilizado ao longo do estudo, será apresentado inicialmente o dimensionamento do ramal alimentador principal da instalação em baixa tensão, considerando o sistema alimentado em 380V. Esse cálculo será utilizado como base para os demais dimensionamentos realizados no estudo comparativo entre baixa e média tensão.

- a. Dados ramal Baixa tensão:
 - a. Distância da Carga: 200 metros;
 - b. Tensão trifásica: 380V;
 - c. Fator de Potência ($\cos(\varphi)$): 0,92;
 - d. Fator de Agrupamento: 1,0 (Apenas um Circuito na infraestrutura);
 - e. Temperatura: 40°C;
 - f. Resistência elétrica: 0,099 Ω/km (dado retirado do datasheet do fabricante Prysmian, linha EPROTENAX 0,6/1KV);
 - g. Reatância Indutiva: 0,0977 Ω/km (dado retirado do datasheet do fabricante

Prysmian, linha EPROTENAX 0,6/1KV);.

Com os dados acima, podemos determinar a corrente de projeto, sendo a corrente elétrica necessária para o dimensionamento dos cabos elétricos de baixa tensão, sendo a equação (5):

$$I_p = \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}} \quad (5)$$

Onde:

I_p = corrente de projeto (A);

S = potência aparente da carga (VA);

V = tensão trifásica do sistema (V);

Com a substituição dos valores na equação (5), para o caso deste artigo, podemos obter uma corrente de projeto de 3.038,68(A), a partir destes dados complementamos para realizar o dimensionamento dos cabos elétricos. Com todos os dados obtido e levantados, podemos seguir para a equação capacidade de condução.

Para a realização do dimensionamento inicial dos condutores em baixa tensão, foram consultadas as Tabelas 33, 39, 40 e 42 da ABNT NBR 5410:2004. Considerando a elevada corrente de projeto do sistema, adotou-se inicialmente o condutor de cobre com seção de 240mm², sendo está a maior seção comercial normalmente utilizada em instalações industriais de baixa tensão.

Conforme dados do fabricante Prysmian para cabos de cobre EPR/HEPR 90°C instalados pelo método F, o condutor de 240mm² apresenta capacidade de condução de corrente de 607A em regime permanente de operação. A partir desse valor, foram aplicados os fatores de correção relacionados à temperatura ambiente e ao agrupamento de circuitos, conforme Equação (6).

$$\text{Capacidade de condução} = I * F_T * F_{agr} \quad (6)$$

$$\text{Capacidade de condução} = 607 * 0,91 * 1 \quad (7)$$

$$\text{Capacidade de condução} = 552,37 \quad (8)$$

Sendo que para este circuito, chegamos a simples equação de número de condutores de fase, não levando em consideração a queda de tensão que será apresentado no próximo cálculo.

$$\text{Número de condutores por fase} = \frac{\text{Corrente de projeto}}{\text{Capacidade de condução}} \quad (9)$$

$$\text{Número de condutores por fase} = \frac{3038,68}{552,37} \quad (10)$$

$$\text{Número de condutores por fase} = 5,50 \quad (11)$$

Utilizando o arredondamento para cima, para iniciarmos o cálculo de queda de tensão começaremos com 06 condutores por fase

a. Equação Combinada para Queda de Tensão:

$$\Delta V (\%) = \frac{\sqrt{3} * (R * \cos(\varphi) + X_L * \sin(\varphi)) * I * L}{V_{ff} * N_{cf} * 10} \quad (12)$$

$$\Delta V (\%) = \frac{\sqrt{3} * (0,1 * 0,92 + 0,0977 * (\sqrt{1 - 0,92^2})) * 3038,68 * 200}{380 * 6 * 10} \quad (13)$$

$$\Delta V (\%) = 6,02\% \quad (14)$$

Pode ser observado acima que para o cálculo de queda de tensão não foi atingido o máximo de 2% solicitado em projeto, devido a quantidade de condutores por fase, sendo assim, na Tabela 1 foram representados para este circuito a iteração ao aumento de um condutor por fase até chegar no resultado solicitado de 2%:

Tabela 1 – Número de condutores por fase e queda de tensão

Número de condutor por fase	Porcentagem de queda de Tensão
6	6,02%
7	5,16%
8	4,51%
9	4,01%
10	3,61%
11	3,28%
Número de condutor por fase	Porcentagem de queda de Tensão
12	3,01%
13	2,78%
14	2,58%
15	2,41%
16	2,26%
17	2,12%
18	2,01%
19	1,90%

Fonte: Dados de estudo (2026).

A partir disto, chega-se ao resultado ideal de condutores de cobre em baixa tensão para o circuito referente ao ramal alimentador, este com uma quantidade de 19 condutores por fase de cobre.

4.2.1 Condutor Neutro

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 5410:2004, item 6.2.6.2.6, a seção do condutor neutro pode ser reduzida em relação aos condutores fase em determinadas condições de instalação, especialmente em sistemas trifásicos equilibrados onde não há predominância de cargas não lineares ou circulação significativa de correntes harmônicas. Para o cenário analisado neste estudo, adotou-se a utilização da mesma quantidade de condutores por fase para o neutro, porém com seção reduzida para metade da seção dos condutores fase, prática usualmente empregada em instalações industriais de potência elevada. Dessa forma, para os 19 condutores fase de 240mm^2 definidos anteriormente, foram considerados 19 condutores neutro com seção equivalente a 120mm^2 , mantendo a padronização construtiva da instalação e atendendo aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5410:2004 para condutores neutros em sistemas trifásicos.

4.2.2 Condutor Proteção (PE)

Para o dimensionamento do condutor de proteção (PE), foi considerada a verificação térmica frente às correntes de curto-circuito, utilizando os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5410:2004 para suportabilidade térmica dos condutores de proteção. O procedimento utilizado neste estudo está fundamentado no item 5.4.3 da norma, que estabelece que a seção do condutor de proteção pode ser determinada por meio da verificação da capacidade do condutor suportar termicamente a corrente de falta durante o tempo de atuação do dispositivo de proteção.

A equação empregada para esse dimensionamento considera a corrente de curto-circuito presumida, o tempo de atuação da proteção e a constante característica do material condutor, associada às propriedades térmicas e elétricas do cobre. Em sistemas industriais de elevada potência, as correntes de curto-circuito podem atingir valores significativamente elevados, tornando necessária a verificação da capacidade do condutor de proteção suportar os esforços térmicos durante condições de falha. Para este estudo, adotou-se uma impedância típica de transformador de 6,5%, condição normalmente encontrada em transformadores industriais de

distribuição. A partir da corrente nominal calculada para o sistema em baixa tensão, estimou-se uma corrente de curto-circuito presumida de aproximadamente 46kA no secundário do transformador, sendo adotado comercialmente o valor de 55kA para fins de dimensionamento e margem de segurança da instalação.

Reorganizando a Equação 4 para determinação da seção mínima do condutor de proteção, obtém-se a Equação 15:

$$S = \frac{\sqrt{I_{cc}^2 * t}}{K} \quad (15)$$

Onde:

I_{cc} = corrente de curto-circuito suportável (A)

K = constante do material (depende da resistividade e calor específico);

S = Seção do condutor em mm²;

t = Tempo de atuação da proteção em segundo (sendo o tempo máximo admitido em normativa é de 5s).

Considerando corrente de curto-circuito de 55kA, tempo de atuação da proteção de 0,5 segundos e constante do cobre igual a 176, obteve-se:

$$S = \frac{\sqrt{55000^2 * 0,5}}{176} \quad (16)$$

$$S = 220,97 \text{ mm}^2 \quad (17)$$

Dessa forma, visando atender aos critérios de suportabilidade térmica, robustez mecânica e padronização construtiva da instalação, adotou-se a utilização de um condutor de proteção (PE) em cobre de 240mm² ao longo do alimentador principal em baixa tensão.

4.3 DESENVOLVIMENTO DE CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES EM MÉDIA TENSÃO

Para o dimensionamento do sistema em média tensão foram considerados os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 14039:2021, norma aplicável às instalações elétricas de média tensão entre 1,0KV e 36,2KV. O estudo considerou a alimentação da instalação industrial em

13,8KV, com transformação próxima ao centro de carga, visando comparar tecnicamente essa alternativa em relação ao sistema equivalente em baixa tensão anteriormente desenvolvido.

Para os condutores de média tensão foram considerados cabos unipolares de cobre, classe de isolamento 8,7/15KV, com isolamento em EPR 90°C, instalados em dutos subterrâneos, conforme critérios construtivos normalmente empregados em alimentadores industriais de média tensão. Os parâmetros adotados para o desenvolvimento dos cálculos seguiram os critérios apresentados na Seção 6 da ABNT NBR 14039:2021, referentes à seleção e instalação das linhas elétricas, capacidade de condução de corrente, verificação térmica ao curto-circuito e análise da queda de tensão.

a. Para o dimensionamento foram adotados os seguintes parâmetros de projeto:

- a. Potência aparente da instalação: 2000KVA;
- b. Tensão trifásica: 13,8KV;
- c. Distância do alimentador: 200 metros;
- d. Fator de potência: 0,92;
- e. Temperatura ambiente do solo: 20°C;
- f. Instalação em dutos subterrâneos;
- g. Queda de tensão máxima admissível: 2%;
- h. Cabos unipolares de cobre com isolamento EPR 90°C;
- i. Frequência nominal de 60Hz.

Inicialmente, foi determinada a corrente de projeto do alimentador em média tensão por meio da Equação (5), apresentada anteriormente. A partir da substituição dos valores do sistema analisado, obteve-se uma corrente nominal aproximada de 83,67A para o alimentador em 13,8KV.

Com base na corrente obtida, foram analisados os critérios de capacidade de condução de corrente aplicáveis aos cabos de média tensão, considerando os fatores de correção referentes à temperatura do solo, método de instalação, resistividade térmica do solo e agrupamento de circuitos, conforme critérios estabelecidos entre as Tabelas 25 e 36 da ABNT NBR 14039:2021.

A partir da análise normativa, verificou-se que o condutor de cobre unipolar de 25mm² atenderia inicialmente aos critérios mínimos de capacidade de condução de corrente para o método de instalação F1 em dutos subterrâneos. Entretanto, após a aplicação dos fatores de correção relacionados às condições de instalação, observou-se que o condutor operaria muito próximo à corrente nominal do sistema. Dessa forma, visando maior robustez operacional, melhor desempenho térmico, menor queda de tensão e maior margem de segurança para futuras

ampliações da instalação, adotou-se o condutor de cobre unipolar de 35mm², classe de isolamento 8,7/15KV, para o alimentador em média tensão.

Definida a seção do condutor, foi realizada a verificação da queda de tensão do circuito utilizando a Equação (3), considerando os parâmetros elétricos do cabo selecionado, como resistência elétrica e reatância indutiva. Para o cálculo, foram adotados os valores de resistência elétrica de 0,928Ω/km e reatância indutiva de 0,17Ω/km. A partir da substituição dos valores na Equação (3), obteve-se uma queda de tensão aproximada de 0,19%, permanecendo significativamente abaixo do limite máximo de 2% adotado para o estudo.

Na sequência, foi realizada a verificação térmica frente às correntes de curto-circuito, utilizando os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 14039:2021 para suportabilidade térmica dos condutores. Os resultados obtidos demonstraram que o cabo de 35mm² suporta adequadamente os esforços térmicos associados às condições de falta previstas para o sistema analisado.

A partir dos resultados obtidos, observou-se que a alimentação em média tensão proporciona significativa redução da corrente elétrica circulante quando comparada ao sistema equivalente em baixa tensão. Como consequência direta, houve redução expressiva na seção total de condutores necessária para o alimentador, além da diminuição das perdas elétricas e da queda de tensão ao longo do circuito.

Quadro 1 – Critérios adotados para o dimensionamento do alimentador em média tensão.:

Critério analisado	Condição adotada	Referência normativa
Norma técnica utilizada	Instalações elétricas de média tensão de 1,0KV a 36,2KV	ABNT NBR 14039:2021
Tensão nominal do sistema	13,8KV	Dados de projeto
Potência instalada	2000KVa	Dados de projeto
Corrente de projeto	83,67A	Equação (5)
Tipo de cabo	Cabo unipolar de cobre EPR 90°C	Tabelas 28 a 36
Classe de isolamento	8,7/15KV	ABNT NBR 14039:2021
Método de instalação	Método F1	Tabela 25
Tipo de instalação	Cabos em dutos subterrâneos	Tabela 25
Temperatura do solo	20°C	Tabela 30
Resistividade térmica do solo	1,5 K.m/W	Tabela 31
Quantidade de circuitos	1 circuito	Tabela 32
Critério analisado	Condição adotada	Referência normativa
Fator de agrupamento	1	Tabela 32
Profundidade de instalação	Instalação subterrânea padrão	Tabela 33
Capacidade de condução de corrente do cabo 25mm ²	97 ^a	Tabela 28
Capacidade de condução corrigida do cabo 25mm ²	85,7 ^a	Tabelas 30, 31 e 32
Capacidade de condução de corrente do cabo 35mm ²	116 ^a	Tabela 28

Capacidade de condução corrigida do cabo 35mm ²	102,5 ^a	Tabelas 30, 31 e 32
Seção adotada	35mm ²	Resultado do dimensionamento
Quantidade de cabos por fase	1 cabo por fase	Resultado do dimensionamento
Queda de tensão calculada	0,19%	Equação (3)
Critério limitante do circuito	Capacidade de corrente e margem operacional	Item 6.2 da ABNT NBR 14039:2021

Fonte: Dados de estudo (2026).

Conforme os resultados obtidos a partir dos critérios normativos e dos cálculos realizados, verificou-se que um único cabo unipolar de cobre de 35mm² atende adequadamente às condições de operação do sistema em média tensão proposto para o estudo.

4.4 COMPARATIVO DE VALORES

Após a realização dos dimensionamentos dos alimentadores em baixa e média tensão, foi desenvolvido um levantamento dos principais materiais necessários para implantação de cada alternativa analisada neste estudo. O objetivo desta etapa consiste em estabelecer um comparativo entre os quantitativos de materiais envolvidos em cada solução de alimentação elétrica, considerando os resultados obtidos anteriormente nos cálculos de dimensionamento.

Para o sistema em baixa tensão 380V, o alimentador principal foi composto por 19 cabos por fase de cobre 240mm², 19 condutores neutro de 120mm² e um condutor de proteção (PE) de 240mm², acomodados em dois leitos metálicos galvanizados de 800x100mm. Já para o sistema em média tensão 13,8KV, foram considerados quatro cabos unipolares de cobre 35mm² instalados em eletrodutos corrugados Kanaflex de 4 polegadas em infraestrutura subterrânea.

Essa expressiva diferença nos quantitativos de materiais confirma o que Mamede Filho (2017) aponta ao afirmar que a escolha do nível de tensão está diretamente relacionada à demanda energética e à viabilidade econômica da instalação: sistemas operando em média tensão permitem a utilização de condutores com seções significativamente menores para o transporte da mesma potência, devido à redução da corrente elétrica circulante.

Conforme apresentado na Tabela 1, o levantamento de materiais para o sistema em baixa tensão resultou no seguinte quantitativo:

Tabela 1 – Lista de materiais e valores em baixa tensão:

QTD.	UNID.	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	V. UNITÁRIO	V. TOTAL
ALIMENTADORES				

11400,00	MTS	CABO DE COBRE FLEXÍVEL 1X240MM ² 0,6/1KV 90° HEPR/PVC R+S+T - (COR PRETA)	R\$ 211,14	R\$ 2.406.992,58
3800,00	MTS	CABO DE COBRE FLEXÍVEL 1X120MM ² 0,6/1KV 90° HEPR/PVC N - COR AZUL	R\$ 109,77	R\$ 417.134,55
200,00	MTS	CABO DE COBRE FLEXÍVEL 1X240MM ² 0,6/1KV 90° HEPR/PVC PE - VERDE	R\$ 211,14	R\$ 42.227,94
114,00	PÇ	TERMINAL DE COMPRESSÃO 240MM ²	R\$ 11,17	R\$ 1.272,98
38,00	PÇ	TERMINAL DE COMPRESSÃO 120MM ²	R\$ 6,16	R\$ 234,08
2,00	PÇ	TERMINAL DE COMPRESSÃO 240MM ²	R\$ 11,17	R\$ 22,33
152,00	PÇ	TAG'S P/ MARCAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE CABOS ELÉTRICOS, FABRICANTE PHOENIX CONTACT.	R\$ 2,65	R\$ 403,48
304,00	PÇ	ABRAÇADEIRA DE NYLON 280X4,8MM PT - T80	R\$ 0,11	R\$ 33,44
1026,00	PÇ	ABRAÇADEIRA DE NYLON 280X4,8MM PT - T120	R\$ 0,37	R\$ 379,62
52,00	ROLO	FITA ISOLANTE PVC FITECK 19 X 20 X 0.18MM, 0-90°C	R\$ 7,21	R\$ 374,92
22,00	ROLO	FITA ISOLANTE AUTO FUSÃO 19 X 10 X 0.8MM 2KV	R\$ 15,45	R\$ 339,90
LEITO ESCADA FEGA				
800X100MM - #14/16				
134,00	PÇ	LEITO ESCADA 800X100MM FEGA - #14/16	R\$ 349,92	R\$ 46.889,28
7,00	PÇ	TAMPA P/ LEITO ESCADA 800X100MM FEGA - #18	R\$ 417,05	R\$ 2.919,35
7,00	PÇ	TÊ HORIZONTAL 90° P/ LEITO ESCADA 800X100MM FEGA - #18	R\$ 174,96	R\$ 1.224,72
4,00	PÇ	CURVA HORIZONTAL 90° P/ LEITO ESCADA 800X100MM FEGA - #18	R\$ 139,97	R\$ 559,87
8,00	PÇ	CURVA VERTICAL EXTERNA 90° P/ LEITO ESCADA 800X100MM FEGA - #18	R\$ 104,98	R\$ 839,81
8,00	PÇ	CURVA VERTICAL INTERNA 90° P/ LEITO ESCADA 800X100MM FEGA - #18	R\$ 104,98	R\$ 839,81
4,00	PÇ	ACESSÓRIO DE MONTAGEM DIVERSO P/ LEITO ESCADA 800X100MM FEGA - #18	R\$ 104,98	R\$ 419,90
374,00	PÇ	JUNÇÃO SIMPLES (TALA P/ LEITO) H=152X100MM	R\$ 5,80	R\$ 2.169,20
2992,00	PÇ	PARAFUSO LENTILHA 3/8 X ¾ GE -ZINCADO BRANCO	R\$ 0,43	R\$ 1.286,56
2992,00	PÇ	ARRUELA LISA 3/8 GE - ZINCADO BRANCO	R\$ 0,15	R\$ 448,80
2992,00	PÇ	PORCA SEXTAVADA 3/8 GE - ZINCADO BRANCO	R\$ 0,19	R\$ 568,48
13200,00	PÇ	ABRAÇADEIRA DE NYLON 370X7,8MM PT-T120	R\$ 0,32	R\$ 4.224,00
6600,00	PÇ	ABRAÇADEIRA DE NYLON 280X3,8MM PT-T80	R\$ 0,11	R\$ 726,00
400,00	MTS.	CABO DE COBRE NU, NBR 6524 - 7 FIOS BITOLA 16MM ²	R\$ 10,73	R\$ 4.292,00
268,00	PÇ	CONECTOR SPLIT BOLT COM PINO E PORCA PARA ATÉ 35MM ²	R\$ 17,95	R\$ 4.810,60
7,00	TUBO	FITA ISOLANTE LIQUIDA PRETA ATÉ 6,5KV TUBO 200ML	R\$ 75,96	R\$ 531,72
116,00	PÇ	CANTONEIRA 1/4X1.1/4 FEGA	R\$ 135,60	R\$ 15.729,60
534,00	PÇ	CHUMBADOR CBA 3/8X2.1/2 COM PARAFUSO FEGA	R\$ 1,44	R\$ 768,96
534,00	PÇ	PARAFUSO LENTILHA AUTO TRAVANTE 3/8 X ¾ GE - ZINCADO BRANCO	R\$ 0,34	R\$ 181,56
534,00	PÇ	ARRUELA LISA 3/8 GE - ZINCADO BRANCO	R\$ 0,15	R\$ 80,10
534,00	PÇ	PORCA SEXTAVADA 3/8 GE - ZINCADO BRANCO	R\$ 0,19	R\$ 101,46

534,00	PÇ	FIXADOR PARA MÃO FRANCESA OU PERFILADO FEGA	R\$	2,88	R\$	1.537,92
TOTAL:					R\$	2.960.565,52

Fonte: Dados de estudo (2026).

A cotação dos materiais foi realizada em 2026, totalizando R\$ 2.960.565,52 para a instalação do ramal alimentador em baixa tensão. Observa-se que a maior parcela desse valor está concentrada nos cabos elétricos, consequência direta da necessidade de múltiplos condutores em paralelo para atendimento dos critérios técnicos de capacidade de corrente e queda de tensão. Esse resultado é coerente com o que Prysmian (2020) destaca em seu guia de dimensionamento: a avaliação das perdas e dos quantitativos de materiais deve ser considerada ainda na fase de projeto, pois impacta diretamente na eficiência energética e nos custos da instalação.

Para efeito de comparação, a Tabela 2 apresenta os materiais necessários para instalação do ramal em média tensão:

Tabela 2 – Lista de materiais e valores em média tensão:

QTD. UNID. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS			V. UNITÁRIO		V. TOTAL	
ALIMENTADOR MEDIA TENSÃO						
800,00	MTS	CABO EPROTENAX 90° 35 MM² 20KV PRETO R+S+T - (COR PRETA)	R\$	98,73	R\$	78.982,12
8,00	PÇ	TERMINAL MODULAR TM 20-C-50 EXTERNO 12/20KV 25-50MM	R\$	209,50	R\$	1.676,04
10,00	PÇ	TAG'S P/ MARCAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE CABOS ELÉTRICOS, FABRICANTE PHOENIX CONTACT.	R\$	2,65	R\$	26,54
5,00	ROLO	FITA ISOLANTE PVC FITECK 19 X 20 X 0.18MM, 0-90°C	R\$	7,21	R\$	36,05
5,00	ROLO	FITA ISOLANTE AUTO FUSÃO 19 X 10 X 0.8MM 2KV	R\$	15,45	R\$	77,25
ELETRODUTO KANAFLEX 4 POLEGADAS						
400,00	MTS	DUTO FLEXÍVEL CORRUGADO 4" CINZA	R\$	35,30	R\$	14.120,00
4,00	PÇ	FITA DE ADVERTÊNCIA DE MÉDIA TENSÃO	R\$	48,80	R\$	195,20
10,00	PÇ	CAIXA DE PASSAGEM PP 1500X1500X1530 CL 400 FUBOX	R\$	4.480,00	R\$	44.800,00
10,00	PÇ	TAMPA PARA CAIXA DE PASSAGEM PP 1410X1410X50 C/REQ GALV A15 P/CX	R\$	1.370,00	R\$	13.700,00
40,00	HH	LOCAÇÃO BOBCAT PARA ABERTURA E FECHAMENTO DE VALA, TOTAL DE 5 DIAS	R\$	1.350,00	R\$	54.000,00
TOTAL:					R\$	207.613,20

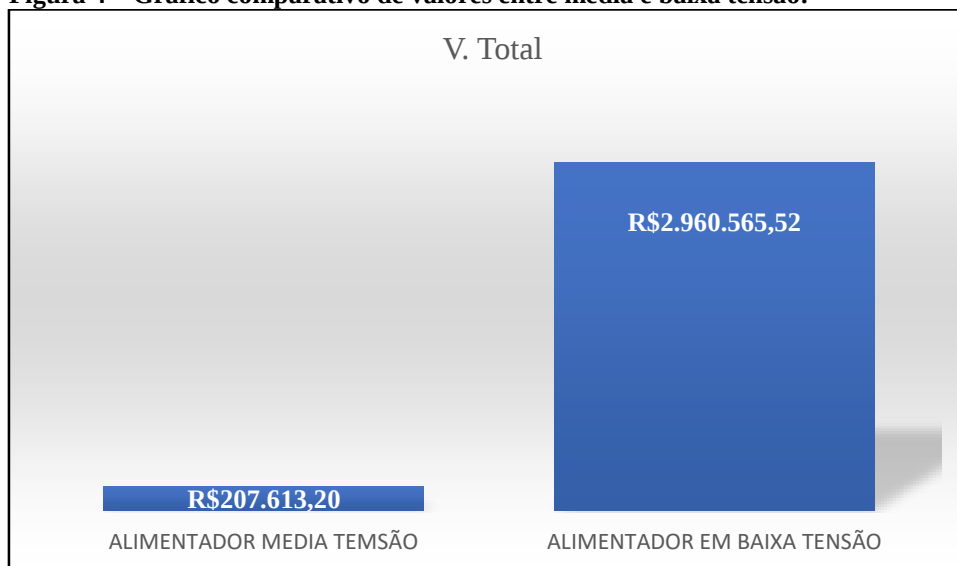
Fonte: Dados de estudo (2026).

O valor total estimado para implantação do alimentador em média tensão foi de R\$ 207.613,20, contemplando cabos elétricos, infraestrutura subterrânea e materiais auxiliares.

Esse resultado está alinhado com os conceitos apresentados por Mamede Filho (2017), que destaca a redução da corrente elétrica como uma das principais vantagens dos sistemas em média tensão, possibilitando a utilização de condutores com menores seções e reduzindo a quantidade de materiais necessários para a instalação.

De forma complementar, Creder (2016) ressalta que a definição adequada do nível de tensão influencia diretamente os aspectos técnicos e econômicos de instalações industriais. Da mesma forma, Sadiku (2013) demonstra que, para uma mesma potência transmitida, o aumento do nível de tensão reduz a corrente elétrica, contribuindo para a diminuição das perdas elétricas e para a otimização do dimensionamento dos condutores.

Figura 4 – Gráfico comparativo de valores entre média e baixa tensão.



Fonte: Dados de estudo (2026).

Conforme apresentado na Figura 4, gráfico comparativo, o sistema alimentado em baixa tensão apresentou um valor total estimado de R\$ 2.960.565,52, enquanto o sistema em média tensão apresentou um custo estimado de R\$ 207.613,20.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o custo estimado da solução em média tensão corresponde a aproximadamente 7,01% do valor total necessário para implantação do sistema equivalente em baixa tensão. Essa diferença está diretamente relacionada à redução da corrente elétrica circulante no sistema em 13,8 kV, fator que influenciou significativamente a quantidade de condutores, a seção dos cabos e a infraestrutura necessária para acomodação dos alimentadores. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a alimentação em média tensão de 13,8 kV é economicamente mais viável para o cenário analisado.

Observa-se ainda que, no sistema em baixa tensão, os custos associados aos cabos elétricos representaram a maior parcela do valor total da instalação, consequência da

necessidade da utilização de múltiplos condutores em paralelo para atendimento dos critérios técnicos de capacidade de corrente e queda de tensão. Já no sistema em média tensão, a redução expressiva da corrente elétrica permitiu a utilização de menor quantidade de materiais condutores e infraestrutura mais compacta, refletindo diretamente nos valores apresentados no comparativo financeiro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo realizou uma análise comparativa entre alimentadores em baixa tensão 380V e média tensão 13,8KV para uma instalação industrial de 2000KVA, com distância de 200 metros entre o ponto de entrega e o centro de carga, com base nos critérios das normas ABNT NBR 5410:2004 e ABNT NBR 14039:2021.

Os resultados demonstraram diferenças expressivas entre os sistemas. Em baixa tensão, a elevada corrente nominal exigiu 19 cabos de 240mm² por fase, enquanto em média tensão foi suficiente apenas um cabo de 35mm² por fase, com melhor desempenho também em queda de tensão e perdas elétricas. No comparativo financeiro, o sistema em baixa tensão totalizou R\$ 2.960.565,52, contra R\$ 207.613,20 em média tensão equivalente a 7,01% do custo da solução em baixa tensão, diferença associada diretamente à quantidade de condutores e à infraestrutura requerida. Esses resultados demonstram a influência direta do nível de tensão sobre o comportamento técnico e econômico dos alimentadores industriais, confirmando que a avaliação integrada entre critérios normativos, desempenho elétrico e aspectos econômicos é determinante no planejamento de sistemas elétricos industriais.

Contudo, o estudo apresentou limitações a serem consideradas: por tratar-se de cenário hipotético, não foram incorporadas variações de resistividade do solo nem análise de distorções harmônicas; o comparativo financeiro também não incluiu os custos da subestação, do transformador de média tensão e dos equipamentos de proteção e manobra, o que significa que a diferença de custo real entre as alternativas pode ser menos expressiva do que a apresentada. Para estudos futuros, recomenda-se ampliar a análise para diferentes cenários de potência e distância, incorporar custos de operação e manutenção ao longo da vida útil dos sistemas e avaliar o impacto das perdas elétricas no custo total de operação, a fim de fornecer subsídios ainda mais precisos para o planejamento de instalações elétricas industriais.

REFERÊNCIAS

ABRACOPEL. Queda de tensão: um problema frequente e crucial para eletricitistas e engenheiros. 2024. Disponível em: <https://abracopel.org/download/queda-de-tensao-um-problema-frequente-e-crucial-para-eletricistas-e-engenheiros/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14039: instalações elétricas de média tensão de 1,0 KV a 36,2 KV**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2021.

BARBOSA, C. **História do cobre**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

BARRETO, Paulo. NBR 5410 – capacidade de condução de corrente de condutores. O Setor Elétrico, 2025. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/capacidade-de-conducao-de-corrente-de-condutores/>. Acesso em: 28 mar. 2026.

BARROSO, Saulo Daniel Andrade. **Dimensionamento de condutores elétricos**. 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade Pitágoras, Divinópolis, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 10: segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Portaria nº 598, de 7 de dezembro de 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-10>. Acesso em: 28 mar. 2026.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

ELETRICIDADE MODERNA. Guia EM da NBR 5410. São Paulo: **Revista Eletricidade Moderna**, dez. 2001. 291 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 3.

MACHADO, Rodrigo. **Análise das normas de concessionárias aplicadas a instalações elétricas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal da Bahia, Paulo Afonso, 2017.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

PRYSMIAN CABOS E SISTEMAS DO BRASIL S.A. **Guia de dimensionamento de cabos para baixa tensão**. 9. ed. Sorocaba, 2020. 51 p. Disponível em:

https://br.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/Guia_de_Dimensionamento-Baixa_Tensao_Rev9.pdf. Acesso em: 28 mar. 2026.

ROCHA, João Marcos Leal. **Análise das instalações elétricas de uma casa de farinha em Santana do Piauí e adequação à NBR 5410:2004**. 2021. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/21023/1/JO%C3%83O%20MARCOS%20LEAL%20ROCHA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202021.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2026.

SADIKU, Matthew N. O. **Elementos de circuitos elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.