

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CAIQUE MIRANDA SIMÕES

***SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE CONDUTORES***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

CAIQUE MIRANDA SIMÕES

**SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE  
CONDUTORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares

Coorientador: Engenheiro Dalton Fellipe Casamali

PATO BRANCO

2017

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE CONDUTORES**”, do(s) aluno(s) “**CAIQUE MIRANDA SIMÕES**” foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° 148/2017 de 2017.

Fizeram parte da banca os professores:

**Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares**

**Dr. Giovanni Alfredo Guarneri**

**MSc. Rafael Zamodzki**

**A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecer à minha toda minha família, em especial aos meus pais Carlos Alberto e Cerise e aos meus irmão Caio e Thais, por todo apoio e carinho durante esse momento importante da minha vida, sem vocês essa conquista não seria possível. Amo muito vocês.

Ao meu orientador Alexandre por todo tempo e sabedoria investidos em mim.

Ao meu co-orientador e grande amigo Dalton por estar ao meu lado, não só durante este último ano mas em toda a graduação, meu muito obrigado.

À todos os meus amigos e amigas de Pato Branco e Vitória, em especial ao Bruno, ao João Vitor e ao Gabriel, pela parceria e apoio de sempre. Essa vitória é de vocês também.

Agradecimentos especiais à Déborah e ao Rodrigo por serem minha segunda família durante a faculdade e por sempre me darem apoio. Considero vocês como irmãos.

Muito obrigado à todos!

## EPÍGRAFE

*Our greatest glory is not that we never fall, but that we rise always after each fall. (CONFÚCIO).*

A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda. (CONFÚCIO).

## RESUMO

MIRANDA SIMÕES, Caique. *Software* para dimensionamento econômico de condutores. 2017. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Instalações elétricas) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Esta pesquisa apresenta uma metodologia utilizada para o desenvolvimento de um *software*, utilizando o MATLAB, para o cálculo da seção econômica de condutores de baixa e média tensão e comparação econômica com o método de dimensionamento técnico. O objetivo do estudo é o desenvolvimento de uma ferramenta prática que auxilie engenheiros eletricitistas, projetistas de instalações elétricas, no dimensionamento de condutores elétricos e consiga oferecer informações para que o cliente decida qual o tipo de dimensionamento mais adequado às suas condições financeiras. O trabalho utiliza o método da corrente para o dimensionamento técnico e segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5410/2004, NBR 14039/2005 e NBR 15920/2011. Para a validação do *software*, os resultados encontrados foram conferidos pelo *software* gratuito da PROCOBRE para dimensionamento econômico e ambiental de condutores.

**Palavras-chave:** Instalações elétricas. *Software*. Dimensionamento técnico. Dimensionamento econômico. MATLAB.

## ABSTRACT

MIRANDA SIMÕES, Caique. *Software for economical sizing of conductors*. 2017. 62 f. Course Completion Work (Specialization in Electrical Installations) – Electrical Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

This research presents a methodology used for the development of a software, using MATLAB, for the calculation of the economical section of low and medium voltage conductors and economical comparison with the technical sizing method. The objective of the study is to develop a practical tool to assist electrical engineers, electrical system designers, and the design of electric conductors, and to provide information for the customer to decide which type of design best suits their financial conditions. The work uses the current method for technical sizing and follows the rules of the Brazilian Association of Technical Standards NBR 5410/2004, NBR 14039/2005 and NBR 15920/2011. For the validation of the software, the results found were checked by PROCOBRE's free software for the economic and environmental dimensioning of drivers.

**Keywords:** Electrical Installations. Software. Technical sizing. Economic sizing. MATLAB.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- <i>Software</i> de dimensionamento econômico e ambiental de condutores. ....	11
Figura 2- Tipos de cabo em baixa tensão. ....	16
Figura 3- Cabo em média tensão. ....	17
Figura 4- Exemplo de escolha da seção do condutor. ....	22
Figura 5- Componentes harmônicas. ....	23
Figura 6- Decomposição da forma de onda. ....	24
Figura 7- Custo do condutor X Seção do condutor. ....	28
Figura 8- Exemplo ilustrativo das perdas na alta tensão. ....	33
Figura 9- Janela inicial do aplicativo GUIDE. ....	34
Figura 10- GUI em branco. ....	35
Figura 11- Property Inspector. ....	36
Figura 12- MATLAB Compiler. ....	36
Figura 13- Implementação do projeto. ....	37
Figura 14- Fluxograma de funcionamento do software. ....	38
Figura 15- Interface inicial. ....	39
Figura 16- Interface para dimensionamento de condutores na baixa tensão. ....	39
Figura 17- Tabela de preços de condutores de baixa tensão. ....	40
Figura 18- Interface para dimensionamento de condutores na média tensão. ....	42
Figura 19- Resultados do software proposto para o exemplo 1. ....	44
Figura 20- Resultados do software da PROCOBRE para o Exemplo 1. ....	45
Figura 21- Resultados do software proposto para o exemplo 2. ....	50



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número de condutores carregados .....	20
Tabela 2- Limites de queda de tensão .....	25

## ANEXOS

ANEXO A- Fatores de correção aplicáveis à temperatura .....	56
ANEXO B- Fatores de correção aplicáveis à condutores em linhas abertas ou fechadas, agrupadas em um mesmo plano e em camada única .....	57
ANEXO C- Fatores de correção aplicáveis a agrupamentos que consistem em mais de uma camada de condutores .....	58
ANEXO D- Fatores de agrupamento para mais de um circuito – cabos unipolares ou cabos multipolares diretamente enterrados .....	58
ANEXO E- Fatores de agrupamento para mais de um circuito – cabos em eletrodutos diretamente enterrados.....	59
ANEXOS F- Fatores de correção para cabos contidos em eletrodutos enterrados no solo.....	59
ANEXO G- Tabela 33 da NBR 5410 .....	60
ANEXO H- Tabela 33 da NBR 5410 (continuação) .....	61
ANEXO I- Tabela 33 da NBR 5410 (continuação).....	62
ANEXO J- Tabela 33 da NBR 5410 (continuação).....	63
ANEXO K- Tabela 36 da NBR 5410 .....	64
ANEXO L- Tabela 37 da NBR 5410 .....	65
ANEXO M- Tabela 38 da NBR 5410 .....	66
ANEXO N- Tabela 39 da NBR 5410.....	67
ANEXO O- Tabela 39 da NBR 5410 .....	67
ANEXO P- Tabela 39 da NBR 5410 (continuação) .....	68
ANEXO Q- Tabela 25 da NBR 14039 .....	69
ANEXO R- Tabela 28 da NBR 14039.....	70
ANEXO S- Tabela 29 da NBR 14039.....	71
ANEXO T- Tabela 30 da NBR 14039 .....	72
ANEXO U- Tabela 31 da NBR 14039.....	73

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

NBR Norma Brasileira

PVC Policloreto de Vinila (PVC)

XLPE Polietileno Reticulado

EPR Etileno Propileno

Mm Milímetros

M Metros

Hz Hertz

A Ampere

H Hora

W Watt

°C Graus Celsius

V Volt

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Objetivo geral .....	12
1.2 Objetivos específicos .....	12
1.3 Estrutura do trabalho .....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1 Condutores.....	14
2.1.1 Material dos condutores .....	14
2.1.2 Isolamento.....	15
2.1.3 Seção nominal.....	15
2.1.4 Cabos elétricos de baixa tensão .....	16
2.1.5 Cabos elétricos de média tensão .....	17
2.1.6 Perdas por calor nos condutores.....	18
2.2 Dimensionamento técnico de condutores elétricos para baixa tensão.....	18
2.2.1 Método de Capacidade de Condução de Corrente .....	19
2.2.1.1 Método de instalação .....	19
2.2.1.2 Número de condutores carregados .....	19
2.2.1.3 Corrente Nominal .....	20
2.2.1.4 Corrente de Projeto .....	21
2.2.1.5 Escolha da seção do condutor .....	22
2.2.3 Harmônicas .....	23
2.2.4 Cálculo da queda de tensão.....	25
2.3 Dimensionamento técnico de condutores elétricos para média tensão.....	26
2.3.1 Método de capacidade de corrente .....	27
2.3.1.1 Método de instalação .....	27
2.3.1.2 Corrente nominal e corrente de projeto .....	27
2.3.1.3 Capacidade de condução de corrente.....	27

2.4 Dimensionamento econômico de condutores elétricos de baixa e média tensão	27
2.4.1 Cálculo da seção econômica.....	28
2.4.2 Comparação econômica entre o dimensionamento econômico e o dimensionamento técnico.....	31
2.5 Dimensionamento econômico de condutores elétricos para alta tensão.....	32
3 DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i> .....	34
4 RESULTADOS .....	43
4.1 Validação dos resultados obtidos.....	43
4.2.1 Exemplo 1- Baixa tensão.....	43
4.2.1 Exemplo 2- Média tensão.....	46
5 CONCLUSÕES .....	52
REFERÊNCIAS.....	54
ANEXOS .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

É inegável que a descoberta da eletricidade e as formas de usá-la modificou profundamente o curso da história e tornaram a humanidade dependente das suas inúmeras utilidades. Desde o uso do forno de micro-ondas até permitir a operação contínua de uma indústria, a energia elétrica é fundamental para o cotidiano das pessoas.

Por tal importância, deve-se pensar no uso racional dessa energia, de forma a aproveitá-la da melhor maneira possível. Por isso, é indispensável encontrar alternativas para diminuir as perdas que ocorrem desde as unidades geradoras, passando pela transmissão e distribuição, até chegar ao consumidor. Uma parcela dessas perdas acontecem nos cabos condutores de energia elétrica, onde o principal problema associado são as perdas por efeito Joule. Isso ocorre devido ao material que compõe os condutores (geralmente cobre) possuir uma resistência elétrica que, quando atravessada por uma corrente elétrica, dissipa a potência na forma de energia térmica. Essa liberação de calor provoca degradação no isolamento que reveste os condutores, diminuindo a vida útil (BARICHELO, 2012).

Segundo as normas brasileiras, a capacidade de condução do cabo é o critério básico para o dimensionamento dos condutores em instalações elétricas residenciais, comerciais e industriais, o que não é o critério mais eficiente de distribuição da energia dentro da instalação. O dimensionamento técnico consiste basicamente em adotar a seção mínima do condutor, de acordo com as suas aplicações, seguindo normas especificadas na NBR 5410 e NBR 14039 (MORENO, 2010).

A seção nominal mais adequada leva em consideração, além da capacidade de suportar uma corrente solicitada e apresentar quedas de tensão dentro dos limites estabelecidos, que o condutor suporte níveis de sobrecarga e curto-circuito. Além disso, precisa apresentar o menor custo ao longo da vida útil da instalação para o consumidor, ou seja, que a instalação apresente menos perdas (ARAÚJO, 2011). A forma mais adequada de se diminuir as perdas por calor nos cabos, sem que isso resulte na alteração das demais características da instalação, é aumentar a seção nominal do condutor.

Este estudo tem como principal objetivo desenvolver um *software* que faça a comparação financeira entre as diferentes técnicas de dimensionamento de condutores em instalações elétricas de baixa e média tensão. Esse *software* tem uma interface gráfica, desenvolvida com o auxílio do aplicativo GUIDE do *software* MATLAB, que, a partir de dados fornecidos pelo usuário apresentará como resultado uma tabela contendo as informações sobre as seções técnica e econômica, o investimento inicial, o investimento total, a queda de tensão, a economia de investimento e tempo de retorno do investimento. Com essas informações, espera-se auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre qual técnica de dimensionamento é mais vantajosa para o seu caso. Para a validação do *software* a ser desenvolvido, são utilizado o *software* para dimensionamento econômico e ambiental de condutores elétricos de baixa tensão desenvolvido pela PROCOBRE, conforme apresentado pela Figura 1- *Software* de dimensionamento econômico e ambiental de condutores. Figura 1.

**Figura 1- Software de dimensionamento econômico e ambiental de condutores. Fonte: (PROCOBRE, 2017).**

Vale ressaltar algumas limitações do *software* desenvolvido. Para o cálculo do dimensionamento técnico de condutores elétricos de baixa tensão, não são contempladas as seguintes condições:

- Instalações de trações elétricas;
- Instalações elétricas de veículos automotores;

- Instalações elétricas de embarcações e aeronaves;
- Instalações de iluminação pública;
- Redes públicas de distribuição de energia;
- Instalações de proteções contra descargas diretas de raios;
- Instalações em minas;
- Cercas eletrificadas.

O dimensionamento de condutores de média tensão não contempla os caso de redes aéreas utilizando condutores nus.

Apesar do dimensionamento econômico de condutores elétricos ser perfeitamente aplicável em condutores de alta tensão, os resultados não justificariam o uso desse método para tal aplicação. Esse ponto será explicado na seção 2.5.

### 1.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de um *software* cuja a interface gráfica apresente ao usuário informações que o auxiliem a escolher entre o dimensionamento econômico de condutores elétricos ou o dimensionamento técnico descrito pela NBR 5410, considerando a comparação econômica para a execução do projeto.

### 1.2 Objetivos específicos

- Pesquisar sobre os dimensionamentos econômico e técnico de condutores;
- Desenvolver um programa no ambiente MATLAB contendo uma interface gráfica;
- Apresentar um comparativo econômico entre os dimensionamentos técnico e econômico, com ênfase no tempo de retorno do investimento inicial.

### 1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica acerca dos condutores e as metodologias de dimensionamento



utilizadas neste trabalho; o Capítulo 3 apresenta o aplicativo GUIDE do MATLAB e mostra seus recursos para a construção de interfaces gráficas e explica o funcionamento do *software* proposto; o Capítulo 4 apresenta a validação dos resultados encontrados pelo *software* proposto; o Capítulo 5 apresenta a conclusão deste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma revisão bibliográfica da literatura acerca das normas utilizadas ao longo do trabalho, bem como sobre os condutores e os materiais que os compõe.

### 2.1 Condutores

Todos os componentes de uma instalação são importantes, cada um com sua função. Dentre esses componentes estão os condutores elétricos, que tem como principal finalidade possibilitar a passagem das cargas elétricas, cujo fluxo ordenado é denominado de corrente elétrica.

#### 2.1.1 Material dos condutores

Os condutores elétricos são fabricados basicamente com cobre ou alumínio, sendo que cada material proporciona características diferentes aos condutores e definem sua utilização em determinada instalação. Os condutores de cobre são amplamente utilizados em instalações elétricas prediais e industriais, enquanto que os condutores de alumínio podem ser usados nesse tipo de instalação seguindo especificações mais rígidas pré-definidas pela NBR 5410. Os condutores de alumínio são usados também em redes de distribuição e transmissão de energia elétrica. As características que diferenciam o cobre e o alumínio são a condutividade elétrica, conexões e o peso (ARAÚJO, 2011).

A condutividade elétrica é a capacidade do elemento em conduzir corrente elétrica. A condutividade elétrica do alumínio é  $0,0286\Omega.\text{mm}^2 / \text{m}$  enquanto a do cobre é  $0,0178\Omega.\text{mm}^2 / \text{m}$  (ARAÚJO, 2011).

A conexão de condutores de cobre é feita com soldas exotérmicas, tornando simples a conexão de um cabo com outro. Porém, para condutores de alumínio, esse tipo de conexão se torna mais complexo devido à camada de óxido que se forma na superfície dos condutores quando o alumínio entra em contato com

o ar. Dessa forma deve-se utilizar compostos químicos para impedir que a camada de óxido se forme (ARAÚJO, 2011).

O peso é o aspecto que mais influencia nas aplicação de cada tipo de condutor. Isso porque o alumínio é mais de três vezes mais leve que o cobre. Enquanto o alumínio possui uma densidade de  $2,7 \text{ g/cm}^3$  o cobre tem uma densidade de  $8,7 \text{ g/cm}^3$ . Esse fato torna o alumínio mais apropriado a ser utilizado em redes de distribuição e transmissão, onde o peso dos condutores é preponderante no dimensionamento das estruturas (ARAÚJO, 2011).

### 2.1.2 Isolamento

De acordo com COTRIM (2009), apesar de existirem vários tipos de materiais para o isolamento dos condutores elétricos os materiais mais utilizados são o Policloreto de Vinila (PVC), o Polietileno Reticulado (XLPE) e o Etileno Propileno (EPR).

As principais características do PVC são: não propaga o fogo (mas geram gases corrosivos e tóxicos quando queimados), impermeabilidade e alta rigidez dielétrica, que possibilita isolar condutores de alta tensão (COTRIM, 2009).

Já a isolação de XLPE possui como principais vantagens sua alta rigidez dielétrica, alta resistência mecânica e térmica e baixa resistência contra ionização, além de possuir baixas perdas dielétricas (COTRIM, 2009).

O EPR tem como principais características a alta flexibilidade, rigidez dielétrica, alta resistência térmica, contra choques mecânicos e à ionização.

### 2.1.3 Seção nominal

A seção nominal é equivalente à área transversal do condutor. Essas seções são dadas em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ) e seus valores são definidos pela *Internacional Electrotechnical Commission* (IEC) em conjunto com a análise da variação da resistência elétrica à  $20^\circ\text{C}$  do condutor (ARAÚJO, 2011).

## 2.1.4 Cabos elétricos de baixa tensão

Existem vários tipos de condutores de baixa tensão (COTRIM, 2009):

- Cabo isolado: cabo que possui uma isolação;
- Cabo unipolar: cabo que possui uma cobertura;
- Cabo multipolar: cabo composto por dois ou mais cabos isolados e possui uma cobertura;
- Cabo multiplexado: cabo composto por dois ou mais cabos isolados ou composto por cabos unipolares dispostos helicoidalmente, sem cobertura;
- Cabos secos: cabos unipolares ou cabos multipolares cuja isolação é feita de algum material sólido;
- Cabos sob pressão: cabo cuja isolação é mantida sob pressão superior à pressão atmosférica por meio de um fluido;
- Cabo concêntrico: cabo multipolar formado por um condutor central isolado e por uma ou mais camadas isoladas.

Os cabos de tipo isolado, unipolar e multipolar são ilustrados na Figura 2.

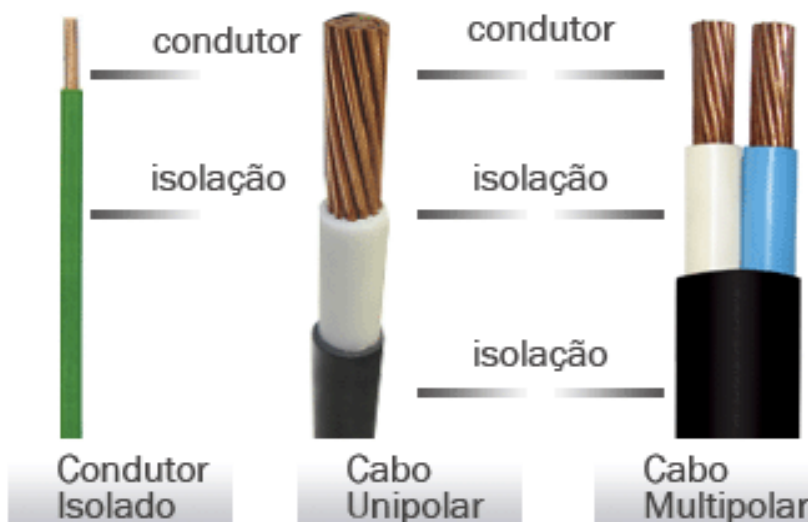
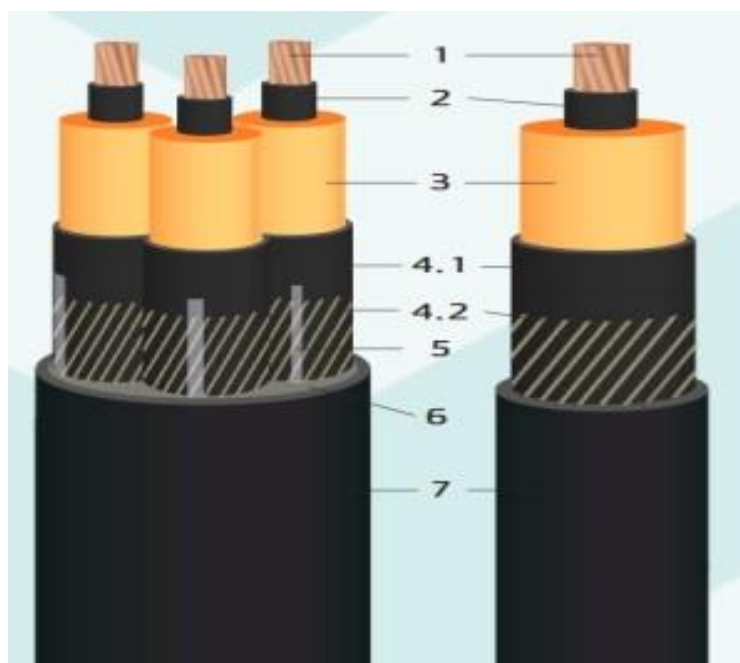


Figura 2- Tipos de cabo em baixa tensão.  
Fonte: (IPCE, 2017).

### 2.1.5 Cabos elétricos de média tensão

Os cabos em média tensão possuem camadas a mais de revestimento se comparado com os cabos de baixa tensão. A primeira camada que envolve o condutor é feita de uma fita semicondutora, cuja função é a de uniformizar e filtrar as linhas de campo magnético induzidas pela passagem de corrente elétrica nos condutores. Existe uma camada de blindagem do condutor central, que deve ser aterrada para que no caso de uma falta a área ao redor do cabo não fique energizada, prevenindo acidentes, conforme mostrado na Figura 3 (BARROS, 2009).



**Figura 3- Cabo em média tensão.**  
Fonte: (PRYSMIAN, 2017).

Outra diferença dos cabos em média tensão para aos cabos em baixa tensão é em relação à conexão. Cabos de média tensão não podem ser decapados, pois isso deixaria expostos os condutores energizados e a blindagem aterrada, provocando um curto-circuito. Por isso são usados encaixes nas extremidades à serem conectadas, que são chamados de muflas (BARROS, 2009).

### 2.1.6 Perdas por calor nos condutores

Perdas nos condutores ocorrem pois os condutores possuem uma resistência à passagem de corrente elétrica e, como consequência à essa passagem há liberação de energia na forma de calor. A Equação (1) calcula as perdas por calor (BARICHELLO, 2012).

$$E = R \times I^2 \times \Delta t \quad (1)$$

Em que:

$E$  energia dissipada (W.h);

$R$  resistência elétrica do condutor ( $\Omega/m$ );

$I$  corrente que passa pelo condutor (A);

$\Delta t$  intervalo de tempo de circulação da corrente (h).

A resistência do condutor é dada pela Equação (2).

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \quad (2)$$

Em que:

$\rho$  resistividade elétrica do material ( $\Omega.m$ );

$L$  comprimento do condutor (m);

$A$  área da seção transversal do condutor ( $m^2$ ).

## 2.2 Dimensionamento técnico de condutores elétricos de baixa tensão

A metodologia adotada neste item está fundamentada na norma NBR-5410 da ABNT. De acordo com a NBR 5410 define-se uma instalação elétrica de baixa tensão aquela que possui tensões alternadas de até 1000 V, frequências abaixo de 400 Hz e em corrente contínua com tensão abaixo de 1500 V.

Como baseou-se no método da corrente para ser desenvolvido, este estudo somente irá explicar tal metodologia. Contudo, existem outros métodos que determinam o valor ideal da seção de condutores de baixa tensão, como método da seção mínima, o método da queda de tensão e o método de curto-circuito.

### 2.2.1 Método de Capacidade de Condução de Corrente

O método da corrente para dimensionamento de condutores elétricos de baixa tensão leva em consideração os seguintes aspectos:

- Método de instalação dos condutores;
- Número de condutores carregados;
- Corrente nominal;
- Fator de correção;
- Corrente de projeto.

#### 2.2.1.1 Método de instalação

O método de instalação dos condutores é a forma como os condutores estarão dispostos na instalação elétrica. Existem várias maneiras de instalação, sendo que cada uma influencia na temperatura em regime dos condutores e, dessa forma, em sua seção nominal. Além da disposição, a forma como os condutores serão guiados também influencia no seu dimensionamento, sendo que as formas mais comuns de guiar os condutores se dá por meio de eletrodutos, eletrocalhas, canaletas e perfilados. Esses métodos são mostrados e explicados pela NBR 5410 na Tabela 33, da página 90 à página 95.

#### 2.2.1.2 Número de condutores carregados

O número de condutores carregados no circuito depende se o circuito é monofásico, bifásico ou trifásico. A Tabela 5 define o número de condutores carregados.

**Tabela 1- Número de condutores carregados**

Esquema de condutores vivos do circuito	Número de condutores carregados a ser adotado
Monofásico a dois condutores	2
Monofásico a três condutores	3
Duas fases sem neutro	2
Duas fases com neutro	3
Trifásico sem neutro	3
Trifásico com neutro	3 ou 4

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que para circuitos trifásicos com condutor neutro, a Tabela 5 indica 3 ou 4 condutores carregados. Porém, a norma NBR 5410 não prevê a quantidade de 4 condutores carregados nas tabelas de capacidade de condução de corrente. Por isso, deve-se adotar uma das seguintes alternativas:

- Utiliza-se a coluna de 3 condutores carregados na tabela de capacidade de condução de corrente, e dividir a corrente de projeto, incluindo o efeito das harmônicas, por um fator de 0,86 independentemente do método de instalação dos condutores;
- Utiliza-se a coluna de 2 condutores carregados, dessa forma, considera-se que existam dois circuitos com dois condutores carregados em cada.

### 2.2.1.3 Corrente Nominal

Para circuitos monofásicos a corrente nominal é calculada a partir da Equação (3).

$$I_n = \frac{Pot}{V_{fn} \cdot \cos\phi} \quad (3)$$

Sendo:

$I_n$  corrente nominal (A);

$Pot$  potência demandada pela carga (W);



$V_{fn}$  tensão entre fase e neutro aplicada na carga (V);  
 $\cos\phi$  fator de potência da carga.

Para circuitos trifásicos, utiliza-se a Equação (4).

$$I_n = \frac{Pot}{\sqrt{3} \cdot V_f \cdot \cos\phi} \quad (4)$$

Em que:

$V_f$  tensão de fase (V).

A partir da corrente nominal calcula-se a corrente de projeto.

#### 2.2.1.4 Corrente de Projeto

A corrente de projeto é a corrente nominal corrigida por um fator de correção (número de circuitos agrupados) que é ajustada para os casos que não atendem as Tabelas de condução de corrente definidas pela NBR 5410, tabelas essas que serão mostradas na seção 2.2.1.5. Esta corrente é calculada dividindo-se a corrente de projeto por um fator de correção, como mostra a Equação (5).

$$I_p = \frac{I_n}{F_C} \quad (5)$$

Em que:

$I_p$  corrente de projeto (A);

$F_C$  fator de correção.

O fator de correção é definido de acordo com a condição e do ambiente onde os condutores foram instalados. A NBR 5410 leva em consideração aspectos como a temperatura, agrupamento de condutores e a resistividade térmica do solo.

Considerando-se o fator de correção é possível ajustar o valor da corrente de projeto às condições da instalação projetada.

### 2.2.1.5 Escolha da seção do condutor

Após definir o método de instalação, o número de condutores carregados, o tipo de isolamento e a corrente corrigida, é possível definir o melhor valor da seção dos condutores do circuito analisado.

Para um melhor entendimento das Tabelas que definem a seção nominal do condutor baseado na capacidade de condução de corrente, a Figura 5 ilustra o exemplo de um circuito que foi instalado de acordo com o método de referência C, indicado pela Tabela 33 da NBR 5410, com 2 condutores carregados e um valor de corrente corrigida maior que 36 A e menor ou igual a 46 A. Desse modo, a Figura 4 indicou um valor de seção do condutor igual à 6 mm<sup>2</sup>.

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	<del>34</del>	<del>31</del>	<del>32</del>	<del>29</del>	<del>41</del>	<del>36</del>	<del>38</del>	<del>34</del>	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86

**Figura 4- Exemplo de escolha da seção do condutor.**

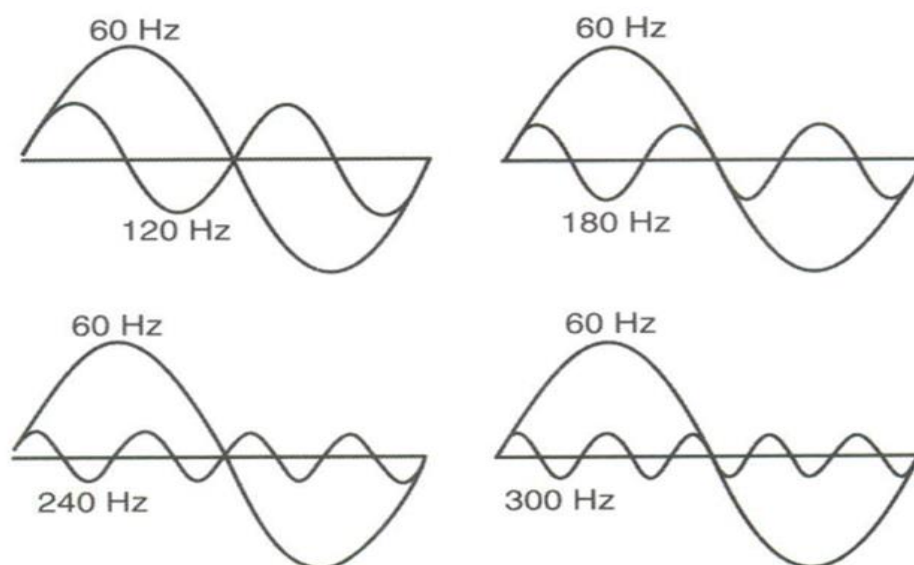
**Fonte: Referência (ARAÚJO, 2011).**

As Tabelas para a escolha da seção nominal de condutores fundamentada na capacidade de condução de corrente são disponibilizadas pela NBR 5410 e são representadas pelas Tabelas 36 a 39, presentes nas páginas 101 a 105.

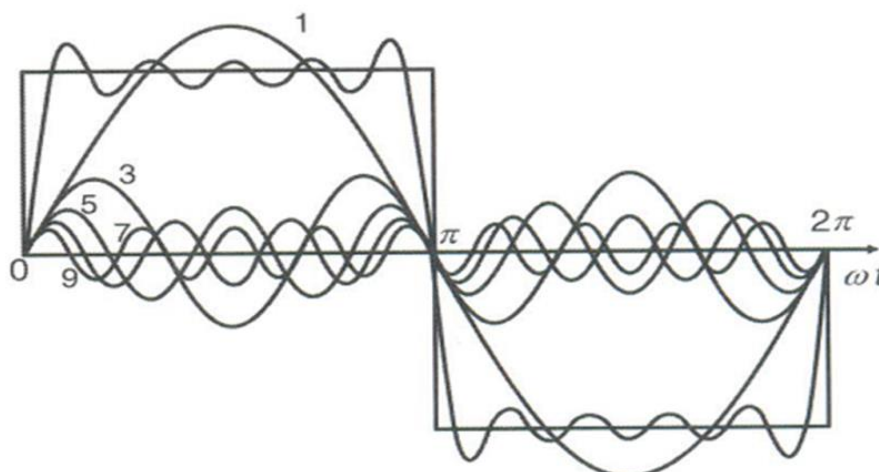
### 2.2.3 Harmônicas

A partir da década de 80, na buscando de tornar os processos de produção mais eficientes, diminuindo os custos e aumentando a produtividade, os sistemas industriais intensificaram o uso da automação. Como consequência dessa transformação, as instalações elétricas começaram a sofrer com a interferência de harmônicas, que geram uma distorção na forma de onda vinda da rede, ocasionando o mal funcionamento de equipamentos pois dependem de uma forma de onda senoidal (ARAÚJO, 2011).

As harmônicas são componentes senoidais de ondas periódicas e com frequências com valores múltiplos da frequência fundamental, que ao se juntar ao sinal fundamental, causam uma alteração na sua amplitude na sua forma de onda. Esse fenômeno pode ser observado nas Figura 5 e Figura 6 (ARAÚJO, 2011).



**Figura 5- Componentes harmônicas.**  
Fonte: (ARAÚJO, 2011).



**Figura 6- Decomposição da forma de onda.**  
**Fonte: (ARAÚJO, 2011).**

Dentre as perturbações causadas pelas componentes harmônicas estão:

- Sobrecarga das redes de distribuição por aumento da corrente eficaz;
- Sobrecarga dos condutores de neutro em razão da soma das harmônicas de ordem 3 geradas pelas cargas monofásicas;
- Sobrecarga, vibrações e envelhecimento dos transformadores, alternadores, motores e ruídos dos transformadores;
- Sobrecarga e envelhecimento dos capacitores de compensação de energia reativa;
- Deformação da tensão de alimentação, podendo perturbar receptores sensíveis;
- Perturbação das redes de comunicação ou das linhas telefônicas.

Nos condutores, como a potência transmitida é definida em função da corrente fundamental, quando as correntes absorvidas pela carga contém harmônicas, o valor eficaz dessa corrente cresce, causando perdas (WORKSHOP Instalações elétricas de Baixa Tensão).

Segundo a NBR 5410, a metodologia para dimensionar condutores com a presença de harmônicas é praticamente a mesma, com exceção do cálculo da

corrente de projeto. O valor fundamental da corrente é encontrado pela Equação (4) e para calcular o valor eficaz da corrente usa-se a Equação (6).

$$I_{ce} = \sqrt{I_p^2 + \sum I_h^2} \quad (6)$$

Em que:

$I_{ce}$  corrente eficaz (A);

$I_p$  corrente calculada em (2);

$\sum I_h$  somatório das componentes harmônicas.

#### 2.2.4 Cálculo da queda de tensão

No dimensionamento de condutores deve-se levar em consideração as quedas de tensão nos cabos, pois elas podem impactar no funcionamento das cargas que são alimentadas pelo circuito. A Tabela 2 mostra os limites estabelecidos pela NBR 5410.

**Tabela 2- Limites de queda de tensão**

Item	Tipo de instalação	Início da instalação	Queda de tensão (%) da tensão nominal
a	Instalações alimentadas através de subestações próprias	Terminais secundários do transformador MT/BT	7%
b	Instalações alimentadas através de transformador da companhia distribuidora de energia	Terminais secundários do transformador MT/BT quando o ponto de entrega for ai localizado	7%
c	Instalações alimentadas através da rede de distribuição da companhia distribuidora de energia	Ponto de entrega	5%
d	Instalações alimentadas através de geração própria	Terminais do grupo gerador	7%

Fonte: Autoria própria.

A Equação (7) calcula a queda de tensão em um determinado trecho da instalação em um circuito monofásico (FILHO):

$$q\% = \frac{200 \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I_c}{V_{fn} \cdot S} \quad (7)$$

Sendo:

$q\%$  queda de tensão percentual;

$\rho$  resistividade elétrica do condutor ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ );

$l$  comprimento do condutor;

$I_c$  corrente de projeto (A);

$V_{fn}$  tensão fase-neutro aplicada na carga (V);

$S$  seção do condutor ( $\text{mm}^2$ ).

A Equação (8) Determina-se a queda de tensão em um determinado trecho da instalação em um circuito trifásicos (FILHO):

$$q\% = \frac{173 \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I_c}{V_{ff} \cdot S} \quad (8)$$

Em que:

$V_{ff}$  tensão fase-fase aplicada na carga (V);

### 2.3 Dimensionamento técnico de condutores elétricos de média tensão

A metodologia apresentada neste item baseia-se na norma NBR 14039 da ABNT. Define-se uma instalação elétrica de média tensão aquela que possui tensões alternadas maiores que 1000V e menores que 36200V.

Apesar da capacidade de condução de corrente, de os métodos de instalação serem diferentes e a isolação poder ser somente de XLPE ou EPR, a metodologia para o dimensionamento de condutores de média tensão é similar à usada para o dimensionamento de condutores de baixa tensão. Novamente, o método escolhido para o desenvolvimento desse estudo foi o método de capacidade de condução de corrente. Contudo as demais metodologias atendem perfeitamente os

requisitos exigidos pela NBR 14039 para o dimensionamento de condutores elétricos de média tensão.

### 2.3.1 Método de capacidade de corrente

Como tal metodologia já foi contemplada na seção 2.2, somente serão pautados os principais pontos e apresentadas as Tabelas com valores que atendam às condições para dimensionar condutores de média tensão.

#### 2.3.1.1 Método de instalação

A Tabela 25 da página 40 da NBR 14039 descreve os métodos de instalação.

#### 2.3.1.2 Corrente nominal e corrente de projeto

Para o cálculo da corrente nominal usa-se a Equação (3) ou (4), enquanto o cálculo da corrente de projeto é usada a Equação (5).

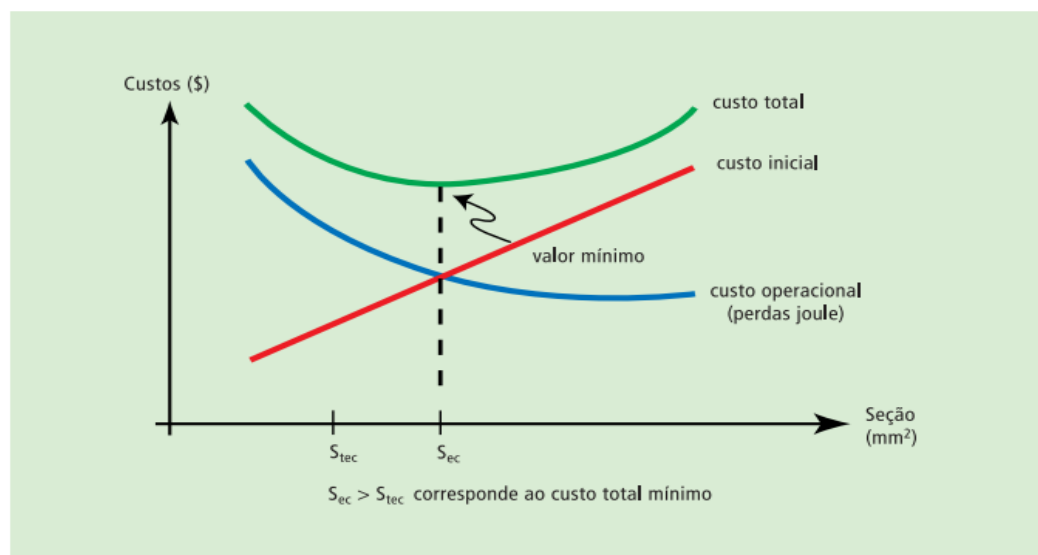
#### 2.3.1.3 Capacidade de condução de corrente

As Tabelas 28 a 31 das páginas 49 a 52 da NBR 14039 mostram a capacidade de condução de corrente para condutores na média tensão.

## 2.4 Dimensionamento econômico de condutores elétricos de baixa e média tensão

O objetivo desse tipo de dimensionamento é encontrar uma seção de condutor que compense financeiramente um maior investimento inicial na aquisição dos condutores (ARAÚJO, 2011). Existem pré-requisitos que indicam o dimensionamento econômico como o método ideal para a instalação a ser projetada

(MORENO, 2010): Circuitos com condutores que possuem seções maiores ou iguais a  $25 \text{ mm}^2$  e que funcionem em regime contínuo e sem notáveis variações de corrente. A Figura 7 ilustra como é aplicado o dimensionamento econômico.



**Figura 7- Custo do condutor X Seção do condutor.**  
**Fonte: (MORENO, 2010).**

Observa-se na Figura 7 que, mesmo possuindo um custo inicial maior que a seção técnica  $S_{tec}$ , a seção econômica  $S_{ec}$  apresenta um custo total menor devido ao menor custo operacional. Também observa-se que aumentar a seção econômica de forma indiscriminada não resulta no menor custo total da instalação, sendo necessário cálculos para determinar qual o valor da seção nominal que resulta no menor custo total.

#### 2.4.1 Cálculo da seção econômica

Denomina-se seção econômica de um circuito, a seção que resulta no menor custo total de instalação e operação de um condutor elétrico durante sua vida econômica considerada, ou seja, durante o tempo de análise determinado pelo projetista (BARICHELLO, 2012).

De acordo com a norma NBR 15920, o cálculo para o dimensionamento econômico possui fórmulas diretas. Porém, vale ressaltar que a hipótese de que os parâmetros financeiros devem permanecer constantes durante a vida econômica do cabo deve ser obedecida. O cálculo para o dimensionamento econômico é realizado



de acordo com as Equações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010):

$$S_{ec} = 1000 \cdot [I_{max}^2 \cdot F \cdot \rho_{20} \cdot B \times [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta_m - 20)]/A]^{0,5} \quad (9)$$

Em que:

$S_{ec}$  seção econômica do condutor (mm<sup>2</sup>);

$I_{max}$  corrente de projeto máxima prevista para o primeiro ano (A);

$F$  quantidade auxiliar;

$\rho_{20}$  resistividade elétrica do material do condutor a 20° C (Ω.m);

$B$  quantidade auxiliar;

$\alpha_{20}$  coeficiente de temperatura a 20° C (K<sup>-1</sup>);

$\theta_m$  temperatura média de operação do condutor (°C);

$A$  componente variável do custo de unidade por comprimento conforme seção do condutor (R\$/m.mm<sup>2</sup>).

A constante  $F$  é calculada usando a Equação (10):

$$F = N_c \cdot N_p \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{1 + \frac{i}{100}} \quad (10)$$

Em que:

$N_p$  número de condutores por fase do circuito;

$N_c$  número de circuitos que levam o mesmo tipo e valor de carga;

$T$  tempo de operação com perda Joule máxima (h/ano);

$P$  custo de um watt-hora no nível da tensão pertinente (\$/W.h);

$D$  variação anual da demanda (\$/W.ano);

$Q$  uma constante auxiliar;

$i$  taxa de capitalização para condições atuais (%).

Para calcular a constante  $B$  usa-se a Equação (11):

$$B = (1 + y_p + y_s) \cdot (1 + \gamma_1 + \gamma_2) \quad (11)$$

Em que:

$y_p$  fator de proximidade, previsto pela IEC 60287-3-2;

$y_s$  fator de efeito pelicular, previsto pela IEC 60287-3-2;

$\gamma_1$  fator de perda, pela cobertura, previsto pela IEC 60287-3-2;

$\gamma_2$  fator de perda, pela armação, previsto pela IEC 60287-3-2.

A constante  $Q$  é calculada utilizando-se a Equação a seguir:

$$Q = \sum_{n=1}^N r^{n-1} = (1 - r^N)/(1 - r) \quad (12)$$

Na Equação (12) tem-se que  $N$  é a vida econômica prevista, em anos, e  $r$  é uma constante auxiliar cujo valor é determinado usando a Equação (13):

$$r = (1 + a/100)^2 \cdot (1 + b/100)/(1 + i/100) \quad (13)$$

Na Equação (13) os termos  $a$  e  $b$  significam a porcentagem do aumento anual de cargas, em relação à  $I_{max}$ , e a porcentagem do aumento anual do custo de energia sem considerar a inflação, respectivamente.

A variável  $\theta_m$  utilizada na Equação (9) é definida pela Equação (14):

$$\theta_m = \frac{\theta - \theta_a}{3 + \theta_a} \quad (14)$$

Em que:

$\theta$  temperatura máxima nominal do condutor para o tipo de cabo considerado (°C);

$\theta_a$  temperatura ambiente média (°C).

Deve-se ressaltar que os fatores de proximidade, efeito pelicular, perda pela cobertura, perda pela armação e as perdas dielétricas podem ser desprezados

para cabos de baixa tensão (<1 kV) e média tensão (entre 1 kV e 36,2 kV) (MORENO, 2010).

Segundo a NBR 15920, é improvável que o valor da seção econômica  $S_{ec}$  seja exatamente igual à um valor nominal padronizado. Assim sendo, deve-se calcular o custo para as seções nominais padronizadas adjacentes de maior e menor valor, e escolher a que resulta no menor custo.

#### 2.4.2 Comparação econômica entre o dimensionamento econômico e o dimensionamento técnico

Após a obtenção do valor da seção econômica, é possível fazer uma análise econômica dos resultados. Para tal, é necessário expressar os custos iniciais de compra e instalação e os custos com perdas de energia em valores econômicos comparáveis, referidos ao mesmo ponto no tempo (BARICHELLO, 2012). A Equação (15) define esse custo total:

$$CT = CI + CJ \quad (15)$$

Em que:

$CI$  custo inicial de um comprimento de cabo instalado (R\$);

$CJ$  valor presente das perdas Joules durante a vida econômica considerada (R\$).

De acordo com a NBR 15920, para se obter o valor do custo da perdas nos cabos durante a vida econômica considerada ( $CJ$ ) deve-se levar em consideração a Equação (16):

$$CJ = I_{M\acute{A}X} \cdot R(S) \cdot l \cdot F \quad (16)$$

Sendo:

$I_{M\acute{A}X}$  carga máxima no cabo durante o primeiro ano;

$R(S)$  resistência aparente do condutor por unidade de comprimento ( $\Omega/m$ );

$l$  comprimento do cabo (m);

$F$  constante calculada pela Equação (10).

Conforme a NBR 15920, o valor de  $R$  em função da seção econômica  $S$  do condutor é encontrado através da Equação (17):

$$R(S) = \frac{\rho_{20} \cdot B \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta_m - 20)]}{S} \cdot 10^6 \quad (17)$$

Com os valores dos custos iniciais e com perdas Joule dos dois dimensionamentos é possível calcular o *payback*, ou seja, o tempo de retorno do investimento aplicado no uso de um condutor com uma maior seção, encontrada pelo método de dimensionamento econômico (ARAÚJO, 2011).

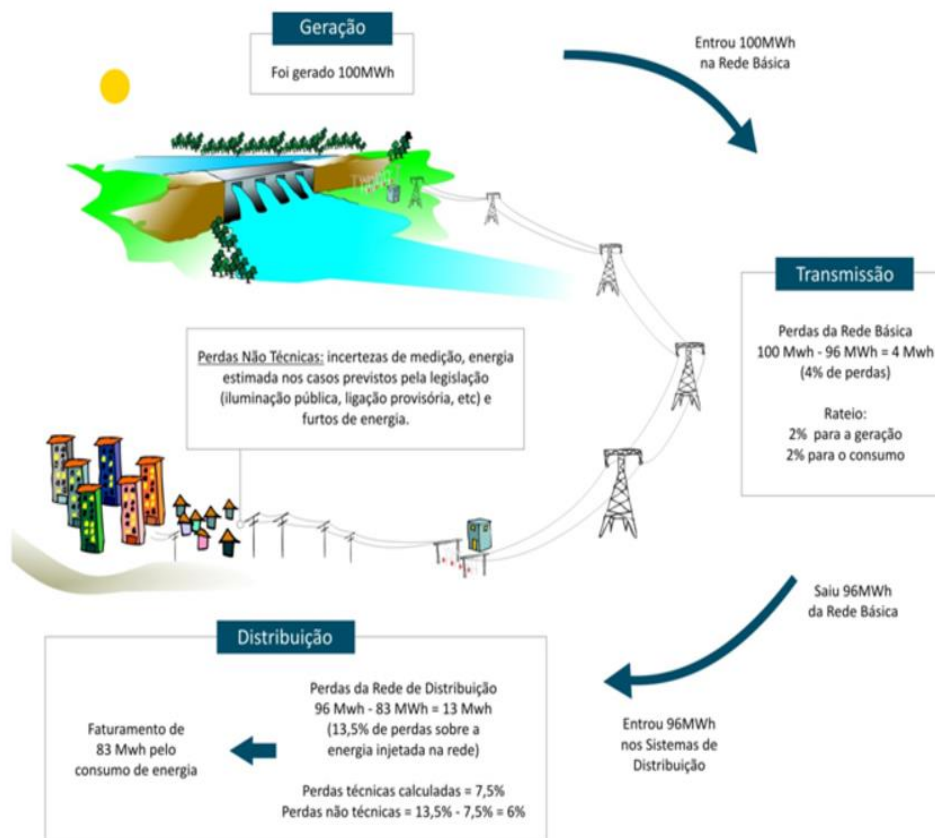
## 2.5 Dimensionamento econômico para condutores elétricos para alta tensão

As linhas de transmissão e distribuição são elementos responsáveis pelo transporte e distribuição de energia. A transmissão de potência em alta tensão se dá através de linhas aéreas, entretanto, tal transmissão pode ser feita por cabos subterrâneos ou marítimos. Nesses casos, o investimento inicial será maior, devendo ser analisada a necessidade de sua utilização com bastante rigor (BERNARDES, 2011).

Há dois tipos de perdas que ocorrem nas linhas de transmissão e distribuição de alta tensão: as perdas técnicas e as perdas não-técnicas. As perdas técnicas são aquelas inerentes ao transporte de energia elétrica como, perdas por calor nos condutores, perdas no núcleo dos transformadores, perdas dielétricas, entre outras. Já as perdas não-técnicas são causadas por diversos fatores, como furtos de energia, erros de medição, erros no processo de faturamento, unidades consumidoras sem equipamentos de medição, entre outras (ANEEL, 2017).

Como as perdas técnicas representam de 10% a 15% da geração, é possível visualizar que as perdas por calor são quase desprezíveis se comparadas com a potência total gerada, e portanto, não se justificaria o dimensionamento

econômico para esses casos. Para uma melhor visualização, a Figura 8 ilustra um exemplo dessas perdas.



**Figura 8- Exemplo ilustrativo das perdas na alta tensão.**  
**Fonte: (ANEEL, 2017).**

Considerando-se que as perdas na transmissão são perdas do tipo técnicas, então essas representam 11,5% da potência gerada. Considerando-se que todas as causas pelas perdas técnicas contribuem da mesma forma, isso significa que as perdas por efeito Joule representam menos de 3% da energia gerada. Por isso, o dimensionamento econômico para condutores na alta tensão não é o ideal para esses casos, pois além de impactar pouco na diminuição das perdas, ainda causaria um acréscimo orçamentário muito grande na construção dessas linhas.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O aplicativo GUIDE (*grafical user interface development environment*) do MATLAB é utilizado para a criação de interfaces gráficas para o usuário, também conhecida como GUI (*grafical user interface*). Uma GUI proporciona um ambiente simples de trabalho para o usuário, fornecendo componentes como botões, menus e caixas de texto para facilitar a interação entre programa e usuário (SOARES, 2012).

Deve-se digitar na janela de comando do MATLAB o comando “guide” para abrir o aplicativo. Em seguida é exibida a janela inicial do GUIDE, como mostrado na Figura 9. Selecionando a aba “Create New GUI” apresentam-se as opções de criar uma nova GUI (*Blank GUI (default)*) ou abrir uma GUI disponibilizada pelo MATLAB para servir de exemplo (*GUI with Uicontrols*, *GUI with Axes and Menu*, *Modal Question Dialog*), enquanto que na aba “Open Existing GUI” tem-se a opção de abrir uma GUI já existente.

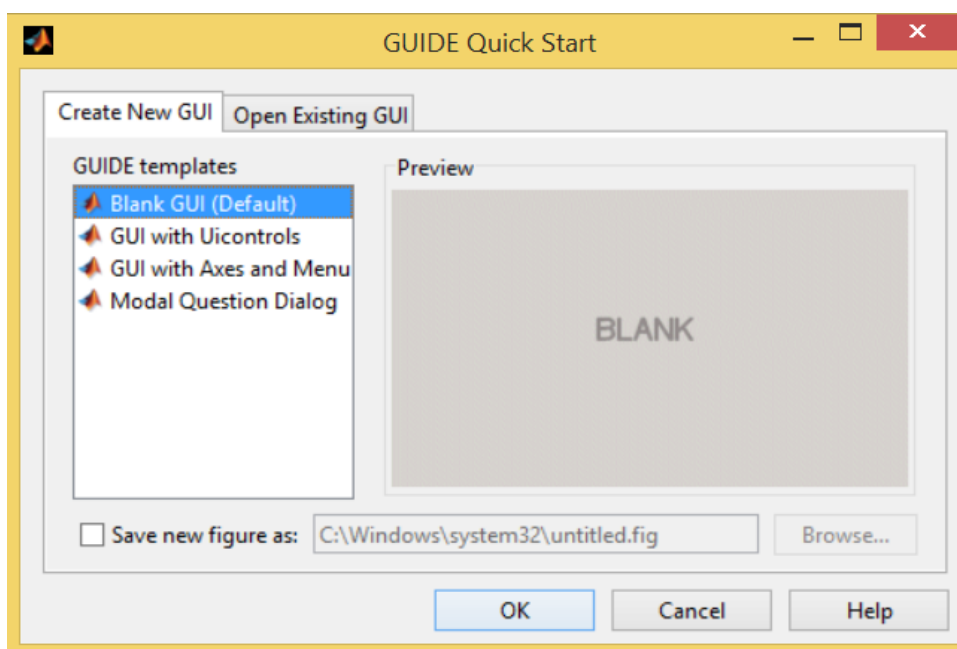
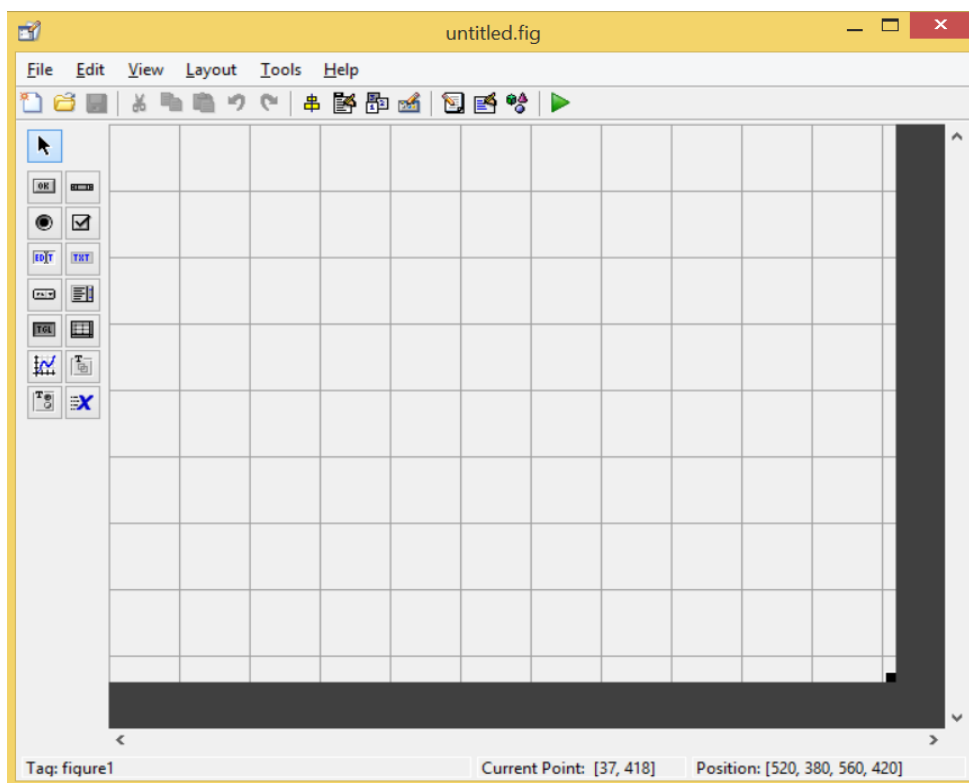


Figura 9- Janela inicial do aplicativo GUIDE.  
Fonte: MATLAB.

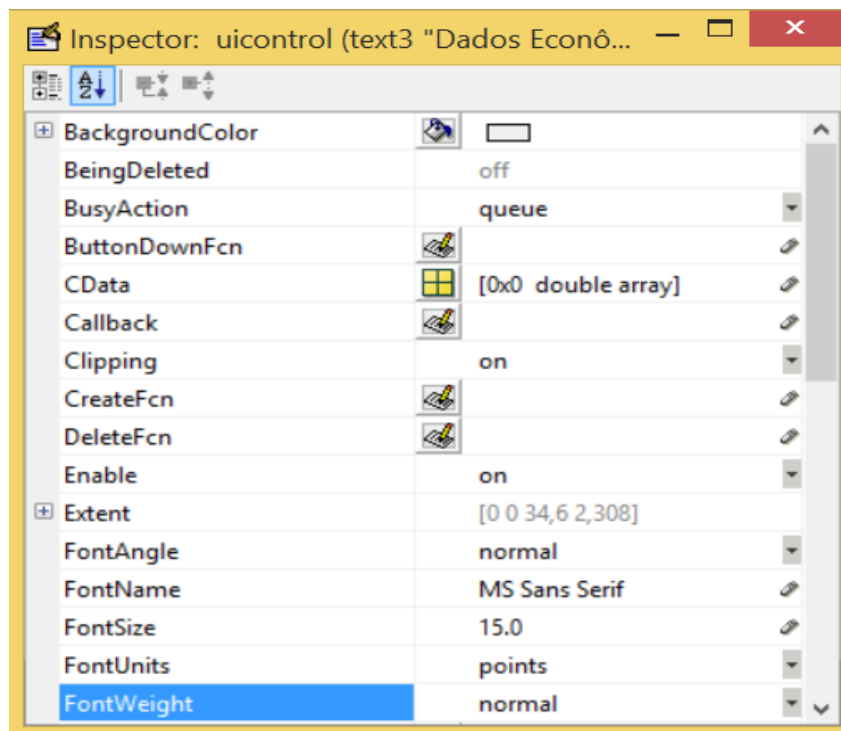
Caso o usuário deseje criar uma nova GUI e selecione a opção *Blank GUI (default)*, é exibida a janela da Figura 11 que ilustra uma GUI em branco formada pelos ícones dos componentes disponíveis, localizados à esquerda da janela, e pela área de trabalho, representado por toda área quadriculada. Para a construção do

layout da GUI basta arrastar os ícones dos componentes para a posição desejada da área de trabalho.



**Figura 10- GUI em branco.**  
**Fonte: MATLAB.**

É possível configurar propriedades dos componentes que estão na área de trabalho apertando com o botão direito e selecionando a opção "*Property Inspector*" ou dando duplo clique no componente. Em seguida é exibida uma janela como o da Figura 11 com as propriedades do componente que podem ser editadas, adicionadas ou removidas.



**Figura 11- Property Inspector.**  
**Fonte: MATLAB.**

Quando uma GUI é criada são gerados dois arquivos: o arquivo *.fig* contendo o corpo da interface e o arquivo *.m* contendo as funções de cada recurso inserido na área de trabalho, chamadas de *callbacks* e a rotina para iniciar a GUI. Nas *callbacks* são definidos os comandos dos componentes quando houver interação do usuário com a interface (SOARES, 2012).

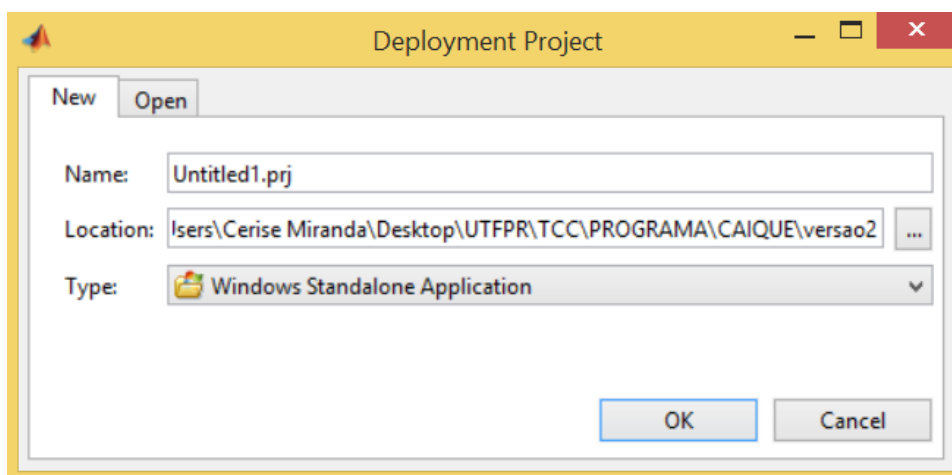
O MATLAB oferece a possibilidade do usuário criar um arquivo executável contendo uma ou mais GUI de forma simples. Para criar o executável o usuário deve selecionar a aba “APPS” e clicar no ícone “MATLAB Compiler”, mostrado pela Figura 12.



**Figura 12- MATLAB Compiler.**  
**Fonte: MATLAB.**

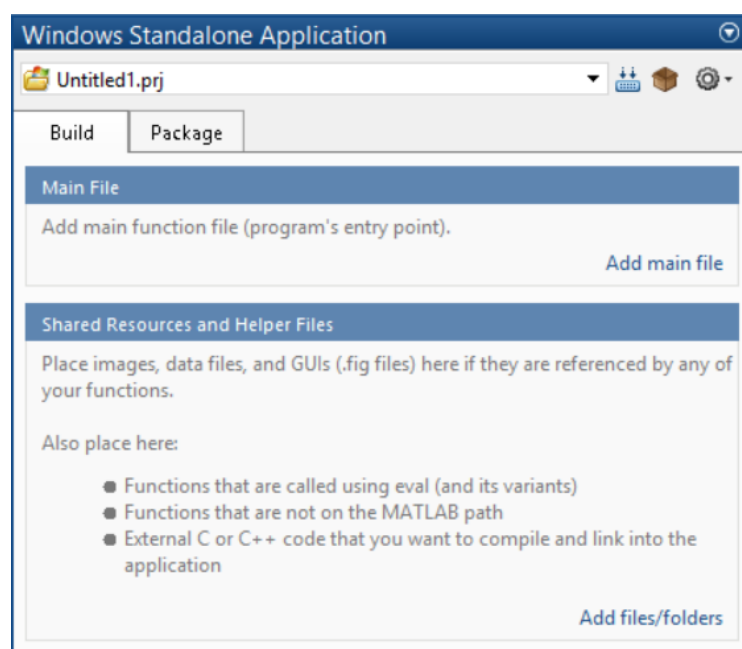


Em seguida será exibida a janela de implementação do projeto, mostrada pela Figura 13, onde o usuário define o nome e o local da pasta contendo o arquivo executável e arquivos auxiliares.



**Figura 13- Implementação do projeto.**  
Fonte: MATLAB.

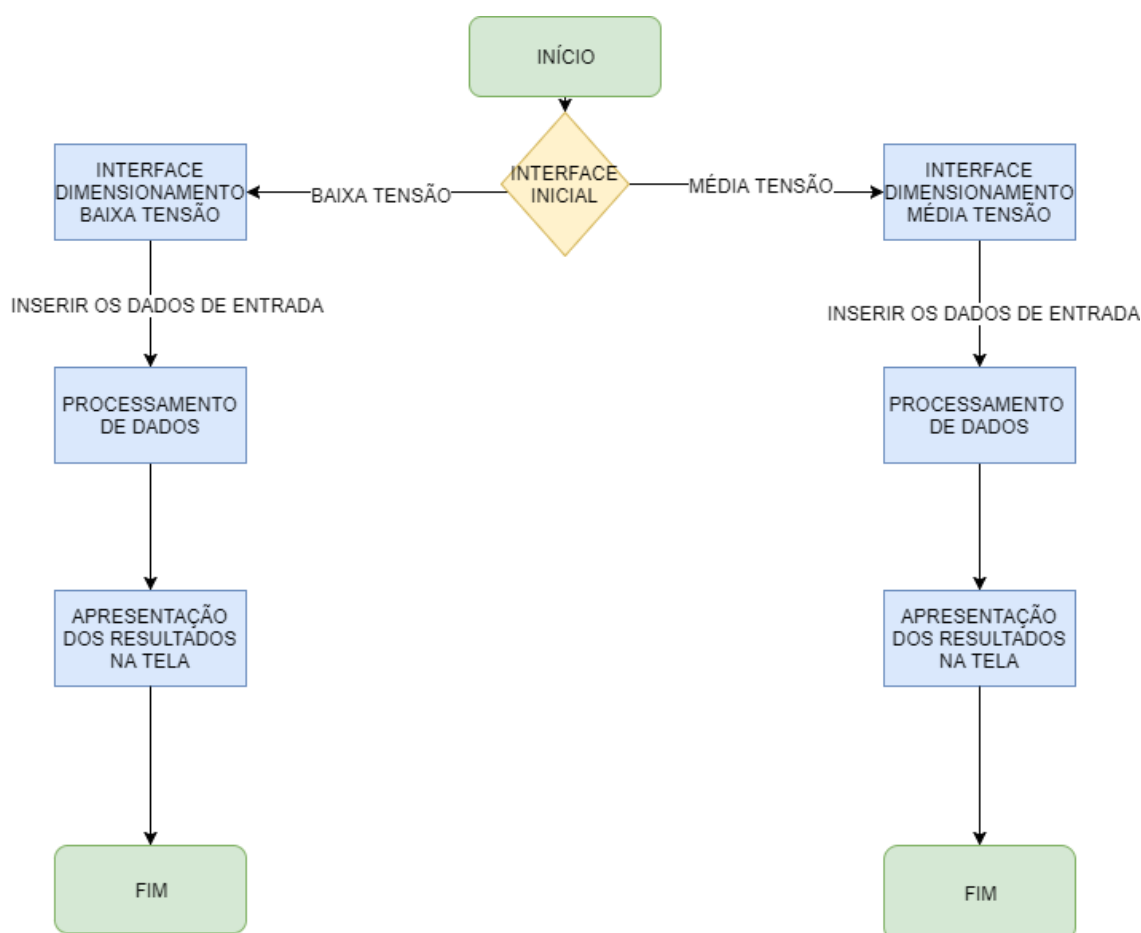
Em seguida é aberto um campo à direita do plano de trabalho do MATLAB, denominado “*Windows Standalone Application*” e mostrado na Figura 13, onde é feita a compilação dos arquivos.



**Figura 14- Compilação dos arquivos.**  
Fonte: MATLAB.

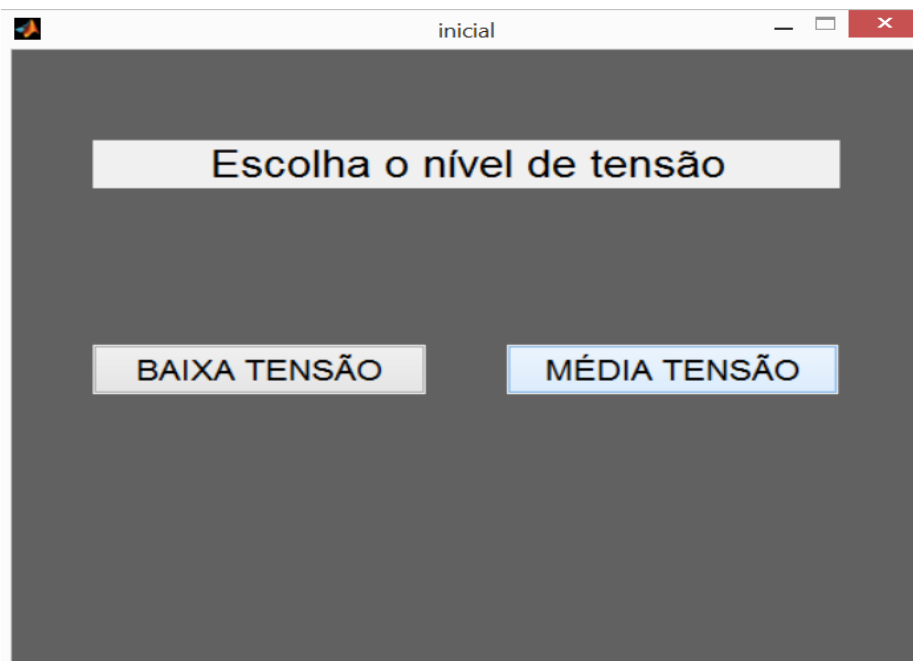
Em “*Add main file*” o usuário carrega a GUI principal do arquivo executável e em “*Add files/folders*” o usuário pode adicionar arquivos auxiliares que interajam com a GUI principal, como imagens ou outras GUI. Por fim, clica-se no ícone “*Build*”, localizado no canto superior direito do “*Windows Standalone Application*”, para compilar os arquivos e criar o arquivo executável.

O arquivo executável permite que o software proposto seja utilizado de forma independente do MATLAB, bastando o usuário dar duplo clique no arquivo executável para iniciar o software. A Figura 14 apresenta o fluxograma de funcionamento do software.



**Figura 14- Fluxograma de funcionamento do software.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Quando o *software* é iniciado é exibida a Interface Inicial, mostrada pela Figura 15. Essa Interface apresenta duas opções de nível de tensão da instalação: baixa tensão ou média tensão.



**Figura 15- Interface inicial.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Caso a opção “BAIXA TENSÃO” seja selecionada é chamada a Interface para o dimensionamento de condutores para instalações de baixa tensão, mostrada pela Figura 16.

**Informações do Circuito**

Material do condutor:  Comprimento do cabo (m):

Métodos de referência:  Resistividade elétrica ( $\times 10^{-9}$  [ohm.m]):  ?

Número de condutores carregados:  Coeficiente de temperatura ( $K^{-1}$ ):  ?

Tipo do circuito:  Temperatura média de operação:

Corrente de projeto corrigida (A):  Variável A:  ?

Aumento anual de carga (%):  Tensão aplicada na carga (V):

Número de circuitos com o mesmo tipo de carga:

Corrente de projeto máxima para o primeiro ano (A):

**Informações Econômicas**

Aumento anual do custo da energia, sem inflação (%):  Preço da energia (R\$/Wh):

Taxa de capitalização (%):  Tempo de análise (vida econômica, em anos):

Preço da variação da demanda (R\$/kWh):  Tempo de operação com perdas (h/ano):

**Dimensionamento Técnico**

Seção Técnica:  mm<sup>2</sup>

Investimento inicial:  R\$

Investimento total:  R\$

Queda de tensão:  %

**Dimensionamento Econômico**

Seção Econômica:  mm<sup>2</sup>

Investimento inicial:  R\$

Investimento total:  R\$

Queda de tensão:  %

**Comparação Financeira**

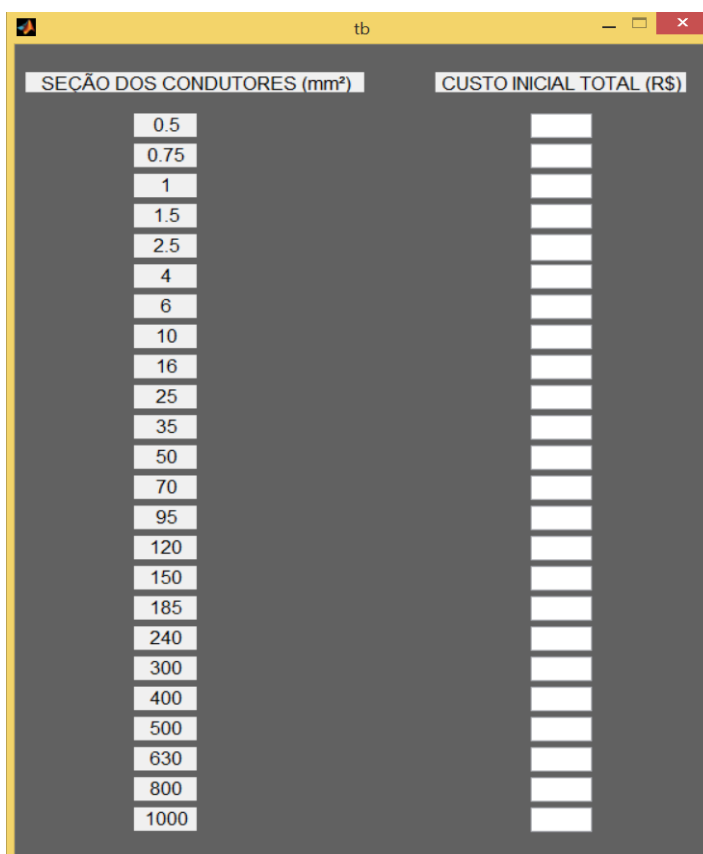
Economia de investimento:  R\$

Tempo de Retorno:  Anos  Meses

**Figura 16- Interface para dimensionamento de condutores na baixa tensão.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Nessa Interface, o usuário deverá entrar com os dados solicitados para o dimensionamento dos condutores. Os dados dos campos “Material do condutor”, “Métodos de referência”, “Número de condutores carregados” e “Corrente de projeto” são para a determinação da seção técnica do condutor, baseada na Tabela 36 da NBR 5410. Os demais campos são relacionados com o cálculo da seção econômica e para realizar a comparação financeira entre os tipos de dimensionamento.

Como o valor de compra e instalação dos condutores diferem muito dependendo do fabricante, implementou-se uma Tabela de preços para ser preenchida conforme os valores praticados pelo fabricante escolhido pelo usuário. Clicando no botão “TABELA DE PREÇO” o software chama uma Janela que apresenta uma Tabela de preço de compra e instalação de cada valor de seção nominal presente na Tabela 36 da NBR 5410, como mostra a Figura 17, que deve ser preenchida completamente. Esses valores serão usados no cálculo do custo inicial  $CI$  e da componente variável  $A$ , conforme as Equações (15) e (9), respectivamente.



SEÇÃO DOS CONDUTORES (mm <sup>2</sup> )	CUSTO INICIAL TOTAL (R\$)
0.5	
0.75	
1	
1.5	
2.5	
4	
6	
10	
16	
25	
35	
50	
70	
95	
120	
150	
185	
240	
300	
400	
500	
630	
800	
1000	

**Figura 17- Tabela de preços de condutores de baixa tensão.**  
Fonte: Autoria própria.

O programa possui ajuda ao usuário, identificados pelo símbolo “?” que auxiliam no preenchimento de determinados campos, tais como Resistividade elétrica, Coeficiente de temperatura e cálculo da variável  $A$ . Quando clicados, os botões ao lado dos campos “Resistividade elétrica” e “Coeficiente de temperatura” apresentam uma mensagem contendo valores típicos dessas características para os materiais alumínio e cobre, conforme informados na NBR 5410. Optou-se por não fixar tais valores por haver divergência sobre sua exatidão nas literaturas pesquisadas, devendo ser usados os valores definidos pelo fabricante dos condutores, sempre que informados. O botão ao lado do campo “Variável  $A$ ” apresenta um exemplo do cálculo da componente variável  $A$ , presente na Equação (9). Um exemplo semelhante pode ser encontrado na seção anexos deste documento.

Com as informações necessária preenchidas, o usuário deverá clicar no botão “DIMENSIONAR” para que o software realize os cálculos retorne os resultados dos mesmos. Os parâmetros de saída do software são: seção nominal, queda de tensão, investimento inicial e investimento total para ambos os tipos de dimensionamento apresentados neste trabalho. Além desses parâmetros, o software retorna a economia de investimento total e o tempo de retorno de um investimento inicial maior para o caso do dimensionamento econômico for escolhido.

Entretanto, caso a opção “MÉDIA TENSÃO” seja escolhida, é exibida uma Janela para dimensionamento de condutores para instalações de média tensão, como mostrada pela Figura 18.

The screenshot shows a software interface titled 'media\_tensao'. It is organized into several functional areas:

- Informações do Circuito:** Contains input fields for conductor material (Cobre), length (Comprimento do cabo), reference methods (Métodos de referência), nominal voltage level (Nível de tensão nominal), corrected project current (Corrente de projeto corrigida), annual load increase (Aumento anual de carga), number of conductors per phase (Número de condutores de fase por circuito), number of circuits (Número de circuitos com o mesmo tipo de carga), maximum project current (Corrente de projeto máxima para o primeiro ano), electrical resistivity (Resistividade elétrica), temperature coefficient (Coeficiente de temperatura), average operating temperature (Temperatura média de operação), variable A (Variável A), applied voltage (Tensão aplicada na carga), and circuit type (Tipo do circuito).
- Informações Econômicas:** Includes fields for annual energy cost increase (Aumento anual do custo da energia, sem inflação), energy price (Preço da energia), capitalization rate (Taxa de capitalização), analysis time (Tempo de análise), demand variation price (Preço da variação da demanda), and operation time with losses (Tempo de operação com perdas).
- Dimensionamento Técnico:** A summary table showing calculated values for section (Seção), voltage drop (Queda de tensão), initial investment (Investimento inicial), and total investment (Investimento total) in mm², %, and R\$.
- Dimensionamento Econômico:** A second summary table, similar to the technical one, but including economic parameters.
- Comparação Financeira:** A section for financial comparison, including investment economy (Economia de investimento) and payback time (Tempo de Retorno) in years and months.

At the bottom right, there are two buttons: 'DIMENSIONAR' and 'TABELA DE PREÇOS'.

**Figura 18- Interface para dimensionamento de condutores na média tensão.**  
**Fonte: Autoria própria.**

O funcionamento dessa Interface é basicamente igual à Interface para dimensionamento de condutores para instalações de baixa tensão, tendo os parâmetros de saída e quase todos parâmetros de entrada iguais, com exceção do campo “Nível de tensão nominal”, além do campo “Métodos de referência” e do botão “TABELA DE PREÇOS” apresentar opções diferentes quando selecionados. Isso deve-se ao fato desses parâmetros serem baseados na Tabela 28 da NBR 14039. Contudo, ambas as Interface dispõem dos mesmo recursos e utilizam a mesma lógica para o dimensionamento de condutores.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados deste estudo. Os resultados serão conferidos com a utilização de cálculos e do *software* livre da PROCOBRE para dimensionamento econômico e ambiental de condutores.

### 4.1 Validação dos resultados obtidos

Para a validação do *software* utilizou-se dois exemplos de circuitos cujo condutores devem ser dimensionados: o primeiro de uma instalação elétrica de baixa tensão e o segundo de uma instalação elétrica de média tensão. Para o caso do primeiro exemplo, os resultados serão conferidos utilizando-se o *software* da PROCOBRE. Já para o segundo exemplo serão usados cálculos para a verificação dos resultados, pois o *software* da PROCOBRE foi desenvolvido para instalações de baixa tensão.

#### 4.2.1 Exemplo 1- Baixa tensão

Para verificação do cálculo foi utilizado o exercício de MORENO (2010), página 21, conforme descrito a seguir:

Considera-se um circuito em 220/380, 60 Hz, trifásico, constituído por um cabo tripolar com condutor de cobre (classe de encordoamento 2), isolamento em EPR e cobertura em PVC, instalado em eletroduto não magnético (isolante) aparente. Não há outro circuito no mesmo eletroduto.

O circuito tem 100 metros de comprimento, a temperatura ambiente média é de 40°C e a corrente de projeto máxima para o primeiro ano é 150 A (incluindo as componentes harmônicas –  $THD_i = 38\%$ ), com taxa de crescimento de 1% a ano. O fator de potência médio do circuito é 0,8 e a queda de tensão máxima admitida é de 2%.

Estima-se que o circuito permaneça em plena operação durante 4.000 horas por ano. O custo considerado de um watt-hora no nível de tensão pertinente é

0,10 R\$/kWh no primeiro ano, com aumento anual de 3% (sem considerar o efeito da inflação). Não será considerado o custo da demanda. Será adotado o valor médio de  $A = 0,074 \text{ R\$/m}\cdot\text{mm}^2$ .

A análise será feita para um período de 20 anos (vida econômica), considerando-se uma taxa de capitalização de 6% ao ano.

A Figura 19 mostra os resultados encontrados utilizando-se o *software* proposto, enquanto a Figura 20 mostra os resultados encontrados utilizando-se o *software* da PROCOBRE.

<b>Dimensionamento Técnico</b>			
Seção Técnica:	120	mm <sup>2</sup>	
Investimento inicial:	2510	R\$	
Investimento total:	11488.9	R\$	
Queda de tensão:	1.04426	%	
<b>Dimensionamento Econômico</b>			
Seção Econômica:	400	mm <sup>2</sup>	
Investimento inicial:	4570	R\$	
Investimento total:	7263.67	R\$	
Queda de tensão:	0.31327	%	
<b>Comparação Financeira</b>			
Economia de investimento:	4225.22	R\$	
Tempo de Retorno:	6	Anos	6 Meses

Figura 19- Resultados do software proposto para o exemplo 1.  
Fonte: Autoria própria.



		Seção Técnica (STEC)			Seção Econômica e Ambiental (SEAC)							
Circuito	Seção nominal (mm <sup>2</sup> )	CI (R\$)	CJ (R\$)	CT (R\$)	Seção nominal (mm <sup>2</sup> )	CI (R\$)	CJ (R\$)	CT (R\$)	Economia de investimento (R\$)	Tempo de retorno do investimento (anos)	Economia de energia (kWh) - valor aproximado	Z1-Z2 Ganho ambiental (redução de CO <sub>2</sub> ) (kg-CO <sub>2</sub> )
Exemplo 1	120	2.510	8.963	11.473	400	4.570	2.689	7.259	4.214	7	62.738	2.770
Total		2.510	8.963	11.473		4.570	2.689	7.259	4.214	7	62.738	2.770

**Figura 20- Resultados do software da PROCOBRE para o Exemplo 1.**  
**Fonte: PROCOBRE.**

É possível determinar o erro percentual entre os resultados encontrados pelo *software* proposto, considerando como base os resultados do *software* da PROCOBRE.

Seção técnica:

- Custo inicial: 0%;
- Custo total: 0,14%;

Seção econômica:

- Custo inicial: 0%;
- Custo total: 0,06%;

Comparação financeira:

- Economia de investimento: 0,3%
- Tempo de retorno do investimento: 7%

Os resultados apresentados pelo *software* proposto foram bem próximos ao resultados apresentados pelo *software* da PROCOBRE, atestando a eficácia dos cálculos realizados pelo *software* proposto. Deve-se levar em consideração que o parâmetro “tempo de retorno do investimento” é exibido de forma diferente por cada *software*: enquanto o da PROCOBRE apresenta o tempo em anos o *software* proposto apresenta o mesmo parâmetro em anos e meses, por isso um erro percentual maior neste parâmetro.

#### 4.2.1 Exemplo 2- Média tensão

Para verificação do cálculo foi utilizado o exercício de ARAÚJO (2011), página 107, conforme descrito a seguir:

Seja um trecho de saída de um parque eólico formado por quatro aero geradores:

Dados do condutor e de sua instalação:

- Isolação de XLPE;
- Condutor de alumínio;
- Resistividade elétrica do alumínio a 20° C de  $29,2 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ ;
- Coeficiente de temperatura do alumínio a 20° C de  $0,0039 K^{-1}$ ;
- Cabos unipolares em trifólio;
- Cabos Tripolares diretamente enterrado;
- Trifásico.

Dados de projeto:

- Corrente de projeto de 124 A;
- Corrente corrigida de 134,62 A;
- Tensão de linha de 34500 V;
- Tensão nominal maior que 8,7/15 kV;
- Admitindo uma distância de 500 m;
- Queda de tensão admitida de 2%;
- Temperatura média de operação de 40° C.

Os cenário econômicos, os custos de compra e instalação dos condutores desse exemplo foram considerados iguais aos do exemplo 1.

Solução:

- a. Determinação da seção técnica do condutor usando o método da corrente.

Como informa o enunciado, cabos unipolares estão em trifólio e os cabos tripolares estão diretamente enterrados. Verificando a Tabela 13 define-se que o método de instalação é o H. Como a corrente corrigida tem o valor 134,2 A e a tensão nominal é maior que 8,7/15 kV, é possível encontrar o valor da seção técnica

verificando-se a Tabela 15, que é de 70 mm<sup>2</sup>. Usando (15), (16) e (17), encontra-se o custo total de compra, instalação e operação do circuito durante os 20 anos analisados:

$$CT(70) = CI + CJ = 10710 + 69961 = 80.671,00 \text{ R\$}$$

b. Determinação da seção econômica.

Cálculo de  $r$  usando (13):

$$r = (1 + a/100)^2 \cdot \frac{1 + \frac{b}{100}}{1 + \frac{i}{100}} = 0,991$$

Cálculo de  $Q$  usando (12):

$$Q = \sum_{n=1}^N r^{n-1} = \frac{1 - r^N}{1 - r} = 18,379$$

Cálculo de  $B$  usando (11):

$$B = (1 + y_p + y_s) \cdot (1 + \gamma_1 + \gamma_2) = 1$$

Cálculo de  $B$  usando (10):

$$F = N_c \cdot N_p \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{1 + \frac{i}{100}} = 20,8$$

Cálculo de  $S_{ec}$  usando (9):

$$S_{ec} = 1000 \cdot [I_{max}^2 \cdot F \cdot \rho_{20} \cdot B \times [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta_m - 20)]/A]^{0,5}$$

$$= 361,67 \text{ mm}^2$$

Como o valor da seção não é um valor comercial, será necessário verificar qual seção (300 e 400 mm<sup>2</sup> são as seções comerciais mais próximas) terá um custo total mais baixo no tempo analisado. Usando as equações (15), (16) e (17), tem-se:

$$CT(300) = CI + CJ = 19170 + 16903 = 36.073,00 \text{ R\$}$$

$$CT(400) = CI + CJ = 22850 + 12243 = 35.093,00 \text{ R\$}$$

Portanto a seção econômica ideal é de 400 mm<sup>2</sup>.

c. Cálculo da queda de tensão.

Como se trata de um circuito trifásico, usa-se a Equação (7) para o cálculo da queda de tensão:

$$q\% (70) = \frac{173 \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I_c}{V_{ff} \cdot S} = 0,125\%$$

$$q\% (400) = \frac{173 \cdot \rho \cdot \sum l \cdot I_c}{V_{ff} \cdot S} = 0,021\%$$

d. Comparação financeira entre o dimensionamento técnico e o dimensionamento econômico.

A economia do investimento no tempo analisado será a diferença dos custos totais dos dois métodos de dimensionamento:

$$\begin{aligned} \text{Economia}(20 \text{ anos}) &= CT(70) - CT(400) \\ &= 45.578,00 \text{ R\$} \end{aligned}$$

Em relação ao tempo de retorno do investimento, tem-se:

- Diferença entre os custos iniciais por ambos critérios

$$22850 - 10710 = 12.140,00 \text{ R\$}$$

- Diferença entre os custos de operação por ambos critérios dividido pelo tempo de análise

$$\frac{69961 - 12243}{20} = 2885,9 \text{ R\$/Ano}$$

$$\text{Tempo de retorno} = \frac{12140}{2885,9} = 4,21 \text{ anos} = 4 \text{ anos e 2 meses}$$

Utilizando-se do *software* proposto para realizar os dimensionamentos, encontra-se os seguintes resultados, mostrados pela Figura 21.

Dimensionamento Técnico		
Seção:	70	mm <sup>2</sup>
Queda de tensão:	0.12524	%
Investimento inicial:	10710	R\$
Investimento total:	80841.6	R\$
Dimensionamento Econômico		
Seção:	400	mm <sup>2</sup>
Queda de tensão:	0.02191	%
Investimento inicial:	22850	R\$
Investimento total:	35123	R\$
Comparação Financeira		
Economia de investimento:	45718.6	R\$
Tempo de Retorno:	4	Anos
	2	Meses

**Figura 21- Resultados do software proposto para o exemplo 2.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Tendo como base os resultados dos cálculos apresentados, os resultados do software proposto possuem os seguintes erros percentuais:

Seção técnica:

- Custo inicial: 0%;
- Custo total: 0,21%;

Seção econômica:

- Custo inicial: 0%;
- Custo total: 0,08%;

Comparação financeira:

- Economia de investimento: 0,30%
- Tempo de retorno do investimento: 0%

Novamente os resultados apresentados pelo software proposto se provaram coerentes, dessa vez comparados com cálculos baseados na metodologia apresentada pela NBR 15920. Diferentemente do Exemplo 1, o tempo de retorno do investimento nos cálculos do Exemplo 2 foi expressado em anos e meses, resultando em um erro percentual aproximadamente zero.

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho abordou-se conceitos das áreas de instalações elétricas prediais, sistema de potência, eficiência energética e engenharia econômica, que fundamentaram o desenvolvimento do *software* proposto.

A metodologia escolhida para o dimensionamento técnico de condutores foi o método da capacidade de condução de corrente. Porém, uma instalação projetada de acordo com as normas técnicas levam em consideração outros aspectos do condutor além da sua capacidade de condução de corrente, como por exemplo a queda de tensão. Por isso foi incluído o cálculo da queda de tensão no *software*, a fim de tornar o dimensionamento mais preciso. O estudo também abordou sobre a influência das harmônicas nas instalações e como a presença dessas componentes devem ser levadas em consideração nos cálculos de dimensionamento de instalações elétricas residenciais, comerciais, prediais e industriais.

Devido às atuais preocupações com a eficiência energética, esse estudo foi ampliado para além do critério técnico. Como instalações elétricas sofrem com muitas perdas por dissipação de calor em seus condutores ao longo dos anos, a alternativa proposta para amenizar esse problema foi o dimensionamento econômico. Esse método de dimensionamento consiste basicamente em achar a seção do condutor levando em consideração o custo de compra e as perdas por calor durante um período de tempo analisado.

Apesar do dimensionamento econômico resultar em seções de condutores com custo de compra mais caro que o dimensionamento técnico, essa diferença se paga com o tempo devido à eficiência que ele proporciona à instalação. Para auxiliar o usuário do *software* na escolha de qual tipo de dimensionamento é mais vantajoso para o seu caso, propôs uma comparação financeira entre o dimensionamento técnico e o dimensionamento econômico. Foram considerados os investimentos iniciais, investimento total durante um determinado período de tempo escolhido pelo usuário e o tempo do retorno da diferença entre os investimentos iniciais. De posse desses dados, o usuário tem melhores condições para definir qual o dimensionamento ideal para o seu caso.

A validação dos resultados encontrados pelo *software* se deu pela comparação dos mesmos com resultados encontrados pelo *software* da PROCOBRE



para dimensionamento econômico de condutores e cálculos manuais. Dessa forma, conclui-se que o *software* proposto foi desenvolvido de maneira correta e seus resultados são verídicos, de acordo com a metodologia apresentada por este estudo.

Para trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento do *software* com a inclusão de mais métodos de dimensionamento técnico de baixa e média tensão, inclusão dos fatores de correção, além de melhorias nas funções oferecidas pelo *software*, como por exemplo, se possível incluir uma opção para que o usuário salve os cálculos realizados.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Gernylano G. Desenvolvimento de um programa em excel para dimensionamento de condutores elétricos em baixa e média tensão. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: [s.n.], 2011. 117 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004. 209 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005. 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15920: Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições de operação — Otimização econômica das seções dos cabos de potência. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. 27 p.

BARICHELLO, Ivan C. DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO E AMBIENTAL DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO. Universidade São Francisco. Itatiba: [s.n.], 2012. 44 p.

BARROS, Beijamim F. D. Cabine Primária: Subestações de Alta tensão de Consumidor. 1. ed. São Paulo: [s.n.], 2009.

BERNARDES, Pedro N. B. O. Caracterização das redes em alta tensão. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto: [s.n.], 2011. 71 p.

COTRIM, Ademaro A. M. B. Instalações elétricas. 5. ed. São Paulo: Pearson Pretice Hall, 2009.

ELEKTRO/PIRELLI. Manuais de Instalações Elétricas Residenciais. Disponível em: <<http://www.etelg.com.br/downloads/eletronica/apostilas/IE%20Parte2.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2017.

FILHO, João M. Instalações elétricas industriais. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC.

IPCE- Fio e Cabos Elétricos. Site da IPCE. Disponível em: <<http://www.ipce.com.br/old/introducao.html>>. Acesso em: 24 Julho 2017.

MORENO, Hilton. Disponível em:  
<[www.gbcbrasil.org.br/sistema/docsMembros/0204120304070000004963.pdf](http://www.gbcbrasil.org.br/sistema/docsMembros/0204120304070000004963.pdf)>.  
Acesso em: 8 Março 2017.

PRYSMIAN. Site da empresa PRYSMIAN. Disponível em:  
<[http://br.prysmiangroup.com/br/files/eptenax\\_mt.pdf](http://br.prysmiangroup.com/br/files/eptenax_mt.pdf)>. Acesso em: 17 Outubro  
2017.

SOARES, Alexande B. D. J. ESTUDO DE PARALELISMO DE ALIMENTADORES RADIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Universidade Estadual de Campinas. Campinas: [s.n.], 2012. 129 p.

WORKSHOP Instalações elétricas de Baixa Tensão Qualidade de energia: Harmônicas. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/harmon.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

## ANEXOS

## ANEXO A- Fatores de correção aplicáveis à temperatura

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41
Do solo		
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

Fonte: NBR 5410.

**ANEXO B- Fatores de correção aplicáveis à condutores em linhas abertas ou fechadas, agrupadas em um mesmo plano e em camada única**

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				38 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

NOTAS

- Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.
- Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.
- O número de circuitos ou de cabos com o qual se consulta a tabela refere-se
  - à quantidade de grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares, cada grupo constituindo um circuito (supondo-se um só condutor por fase, isto é, sem condutores em paralelo), e/ou
  - à quantidade de cabos multipolares que compõe o agrupamento, qualquer que seja essa composição (só condutores isolados, só cabos unipolares, só cabos multipolares ou qualquer combinação).
- Se o agrupamento for constituído, ao mesmo tempo, de cabos bipolares e tripolares, deve-se considerar o número total de cabos como sendo o número de circuitos e, de posse do fator de agrupamento resultante, a determinação das capacidades de condução de corrente, nas tabelas 36 a 39, deve ser então efetuada:
  - na coluna de dois condutores carregados, para os cabos bipolares; e
  - na coluna de três condutores carregados, para os cabos tripolares.
- Um agrupamento com N condutores isolados, ou N cabos unipolares, pode ser considerado composto tanto de N/2 circuitos com dois condutores carregados quanto de N/3 circuitos com três condutores carregados.
- Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

**Fonte: NBR 5410.**

### ANEXO C- Fatores de correção aplicáveis a agrupamentos que consistem em mais de uma camada de condutores

		Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada				
		2	3	4 ou 5	6 a 8	9 e mais
Quantidade de camadas	2	0,68	0,62	0,60	0,58	0,56
	3	0,62	0,57	0,55	0,53	0,51
	4 ou 5	0,60	0,55	0,52	0,51	0,49
	6 a 8	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48
	9 e mais	0,56	0,51	0,49	0,48	0,46

NOTAS

1 Os fatores são válidos independentemente da disposição da camada, se horizontal ou vertical.

2 Sobre condutores agrupados em uma única camada, ver tabela 42 (linhas 2 a 5 da tabela).

3 Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.


Fonte: NBR 5410.

### ANEXO D- Fatores de agrupamento para mais de um circuito – cabos unipolares ou cabos multipolares diretamente enterrados


Número de circuitos	Distâncias entre cabos <sup>1)</sup> (a)				
	Nula	Um diâmetro de cabo	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

<sup>1)</sup>

Cabos multipolares



Cabos unipolares



NOTA Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as dimensões de cabos abrangidas nas tabelas 36 e 37. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até  $\pm 10\%$  em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

Fonte: NBR 5410.

### ANEXO E- Fatores de agrupamento para mais de um circuito – cabos em eletrodutos diretamente enterrados

Cabos multipolares em eletrodutos – Um cabo por eletroduto				
Número de circuitos	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80
Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos <sup>2)</sup> – Um condutor por eletroduto				
Número de circuitos (grupos de dois ou três condutores)	Espaçamento entre eletrodutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

(a)

Cabos multipolares Cabos unipolares

<sup>1)</sup> Os valores indicados são aplicáveis para uma profundidade de 0,7 m e uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. São valores médios para as seções de condutores constantes nas tabelas 36 e 37. Os valores médios arredondados podem apresentar erros de até ±10% em certos casos. Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

<sup>2)</sup> Deve-se atentar para as restrições e problemas que envolvem o uso de condutores isolados ou cabos unipolares em eletrodutos metálicos quando se tem um único condutor por eletroduto.

Fonte: NBR 5410.

### ANEXOS F- Fatores de correção para cabos contidos em eletrodutos enterrados no solo

Resistividade térmica K.m/W	1	1,5	2	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	0,96

NOTAS


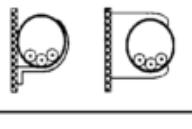
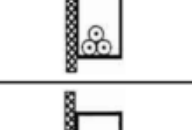
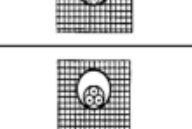
1 Os fatores de correção dados são valores médios para as seções nominais abrangidas nas tabelas 36 e 37, com uma dispersão geralmente inferior a 5%.

2 Os fatores de correção são aplicáveis a cabos em eletrodutos enterrados a uma profundidade de até 0,8 m.

3 Os fatores de correção para cabos diretamente enterrados são mais elevados para resistividades térmicas inferiores a 2,5 K.m/W e podem ser calculados pelos métodos indicados na ABNT NBR 11301.

Fonte: NBR 5410.

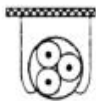
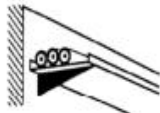
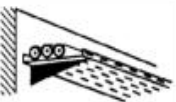
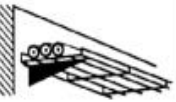
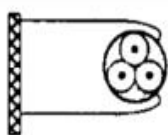
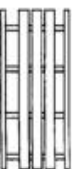
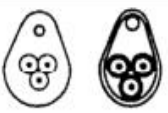

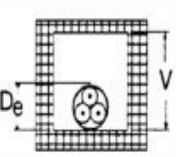
ANEXO G- Tabela 33 da NBR 5410

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência <sup>1)</sup>
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante <sup>2)</sup>	A1
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante <sup>2)</sup>	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
11A		Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C

Fonte: NBR 5410.



ANEXO H- Tabela 33 da NBR 5410 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência <sup>1)</sup>
11B		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado do teto mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
12		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não-perfurada, perfilado ou prateleira <sup>3)</sup>	C
13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical <sup>4)</sup>	E (multipolar) F (unipolares)
14		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre suportes horizontais, eletrocalha aramada ou tela	E (multipolar) F (unipolares)
15		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado(s) da parede mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	E (multipolar) F (unipolares)
16		Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito	E (multipolar) F (unipolares)
17		Cabos unipolares ou cabo multipolar suspenso(s) por cabo de suporte, incorporado ou não	E (multipolar) F (unipolares)
18		Condutores nus ou isolados sobre isoladores	G
21		Cabos unipolares ou cabos multipolares em espaço de construção <sup>5)</sup> , sejam eles lançados diretamente sobre a superfície do espaço de construção, sejam instalados em suportes ou condutos abertos (bandeja, prateleira, tela ou leito) dispostos no espaço de construção <sup>5) 6)</sup>	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1

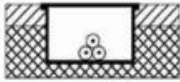
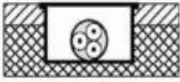

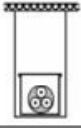
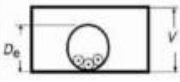
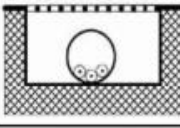
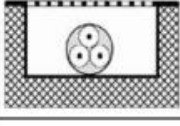

Fonte: NBR 5410.

ANEXO I- Tabela 33 da NBR 5410 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência <sup>1)</sup>
22		Condutores isolados em eletroduto de seção circular em espaço de construção <sup>5),7)</sup>	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
23		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção circular em espaço de construção <sup>5),7)</sup>	B2
24		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção <sup>5)</sup>	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
25		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção <sup>5)</sup>	B2
26		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria <sup>6)</sup>	$1,5 \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
27		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria	B2
31 32		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B1
31 <sup>a</sup> 32 <sup>a</sup>		Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B2

Fonte: NBR 5410.

ANEXO J- Tabela 33 da NBR 5410 (continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência <sup>1)</sup>
33		Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada embutida no piso	B1
34		Cabo multipolar em canaleta fechada embutida no piso	B2
35		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspenso(o)	B1
36		Cabo multipolar em eletrocalha ou perfilado suspenso(o)	B2
41		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular contido em canaleta fechada com percurso horizontal ou vertical <sup>7)</sup>	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Condutores isolados em eletroduto de seção circular contido em canaleta ventilada embutida no piso	B1
43		Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada embutida no piso	B1
51		Cabo multipolar embutido diretamente em parede termicamente isolante <sup>2)</sup>	A1

Fonte: NBR 5410.

ANEXO K- Tabela 36 da NBR 5410

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1 000	767	679	698	618	1 012	906	827	738	1 125	996	792	652
Alumínio												
16	48	43	44	41	60	53	54	48	66	59	62	52
25	63	57	58	53	79	70	71	62	83	73	80	66
35	77	70	71	65	97	86	86	77	103	90	96	80
50	93	84	86	78	118	104	104	92	125	110	113	94
70	118	107	108	98	150	133	131	116	160	140	140	117
95	142	129	130	118	181	161	157	139	195	170	166	138
120	164	149	150	135	210	186	181	160	226	197	189	157
150	189	170	172	155	241	214	206	183	261	227	213	178
185	215	194	195	176	275	245	234	208	298	259	240	200
240	252	227	229	207	324	288	274	243	352	305	277	230
300	289	261	263	237	372	331	313	278	406	351	313	260
400	345	311	314	283	446	397	372	331	488	422	366	305
500	396	356	360	324	512	456	425	378	563	486	414	345
630	456	410	416	373	592	527	488	435	653	562	471	391
800	529	475	482	432	687	612	563	502	761	654	537	446
1 000	607	544	552	495	790	704	643	574	878	753	607	505

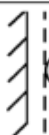
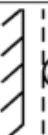

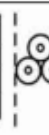


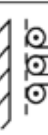
Fonte: NBR 5410.

ANEXO L- Tabela 37 da NBR 5410

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1 122	923	711	596
800	885	792	805	721	1 158	1020	952	837	1 311	1 074	811	679
1 000	1014	908	923	826	1332	1 173	1 088	957	1 515	1 237	916	767
Alumínio												
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76	73	61
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90	93	78
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112	112	94
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136	132	112
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174	163	138
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211	193	164
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245	220	186
150	253	226	230	206	323	289	277	248	324	283	249	210
185	288	256	262	233	368	330	314	281	371	323	279	236
240	338	300	307	273	433	389	368	329	439	382	322	272
300	387	344	352	313	499	447	421	377	508	440	364	308
400	462	409	421	372	597	536	500	448	612	529	426	361
500	530	468	483	426	687	617	573	513	707	610	482	408
630	611	538	556	490	794	714	658	590	821	707	547	464
800	708	622	644	566	922	830	760	682	958	824	624	529
1 000	812	712	739	648	1061	955	870	780	1108	950	706	598

Fonte: NBR 5410.

ANEXO M- Tabela 38 da NBR 5410

Seções nominais dos condutores mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares <sup>1)</sup>				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Método G
							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21
2,5	30	25	31	24	25	34	29
4	40	34	41	33	34	45	39
6	51	43	53	43	45	59	51
10	70	60	73	60	63	81	71
16	94	80	99	82	85	110	97
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	715	597	754	656	689	852	795
500	826	689	868	749	789	982	920
630	958	798	1005	855	905	1138	1070
800	1118	930	1169	971	1119	1325	1251
1 000	1 292	1 073	1 346	1 079	1 296	1 528	1 448
Alumínio							
16	73	61	73	62	65	84	73
25	89	78	98	84	87	112	99
35	111	96	122	105	109	139	124
50	135	117	149	128	133	169	152
70	173	150	192	166	173	217	196
95	210	183	235	203	212	265	241
120	244	212	273	237	247	308	282
150	282	245	316	274	287	356	327
185	322	280	363	315	330	407	376
240	380	330	430	375	392	482	447

Fonte: NBR 5410.

ANEXO N- Tabela 39 da NBR 5410

Seções nominais dos condutores mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares <sup>1)</sup>				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Alumínio							
300	439	381	497	434	455	557	519
400	528	458	600	526	552	671	629
500	608	528	694	610	640	775	730
630	705	613	808	711	640	775	730
800	822	714	944	832	875	1050	1000
1 000	948	823	1 092	965	1 015	1 213	1 161

<sup>1)</sup> Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.





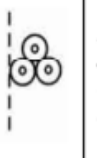
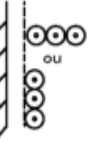

Fonte: NBR 5410.

ANEXO O- Tabela 39 da NBR 5410

Seções nominais dos condutores mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares <sup>1)</sup>				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
0,5	13	12	13	10	10	15	12
0,75	17	15	17	13	14	19	16
1	21	18	21	16	17	23	19
1,5	26	23	27	21	22	30	25
2,5	36	32	37	29	30	41	35
4	49	42	50	40	42	56	48
6	63	54	65	53	55	73	63
10	86	75	90	74	77	101	88
16	115	100	121	101	105	137	120
25	149	127	161	135	141	182	161

Fonte: NBR 5410.

ANEXO P- Tabela 39 da NBR 5410 (continuação)

Seções nominais dos condutores mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares <sup>1)</sup>				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Método G
							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	892	745	940	823	868	1 085	1 008
500	1 030	859	1 083	946	998	1 253	1 169
630	1 196	995	1 254	1 088	1 151	1 454	1 362
800	1 396	1 159	1 460	1 252	1 328	1 696	1 595
1 000	1 613	1 336	1 683	1 420	1 511	1 958	1 849
Alumínio							
16	91	77	90	76	79	103	90
25	108	97	121	103	107	138	122
35	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
150	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	409	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	652
400	654	566	740	663	694	856	792
500	756	652	856	770	806	991	921
630	879	755	996	899	942	1 154	1 077
800	1 026	879	1 164	1 056	1 106	1 351	1 266
1 000	1 186	1 012	1 347	1 226	1 285	1 565	1 472

<sup>1)</sup> Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.

Fonte: NBR 5410.



**ANEXO Q- Tabela 25 da NBR 14039**

Método de instalação número	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente
1	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar ao ar livre	A
2	Três cabos unipolares espaçados ao ar livre	B
3	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em canaleta fechada no solo	C
4	Três cabos unipolares espaçados em canaleta fechada no solo	D
5	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em eletroduto ao ar livre	E
6	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em banco de dutos ou eletroduto enterrado no solo	F
7	Três cabos unipolares em banco de dutos ou eletrodutos enterrados e espaçados – um cabo por duto ou eletroduto não condutor	G
8	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar diretamente enterrados	H
9	Três cabos unipolares espaçados diretamente enterrados	I

**Fonte: NBR 14039.**

ANEXO R- Tabela 28 da NBR 14039

		Métodos de instalação definidos na tabela 25									
		Seção mm <sup>2</sup>	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV	10	87	105	80	92	67	55	63	65	78	
	16	114	137	104	120	87	70	81	84	99	
	25	150	181	135	156	112	90	104	107	126	
	35	183	221	164	189	136	108	124	128	150	
	50	221	267	196	226	162	127	147	150	176	
	70	275	333	243	279	200	154	178	183	212	
	95	337	407	294	336	243	184	213	218	250	
	120	390	470	338	384	278	209	241	247	281	
	150	445	536	382	433	315	234	270	276	311	
	185	510	613	435	491	357	263	304	311	347	
	240	602	721	509	569	419	303	351	358	395	
	300	687	824	575	643	474	340	394	402	437	
	400	796	959	658	734	543	382	447	453	489	
	500	907	1100	741	829	613	426	502	506	542	
	630	1027	1258	829	932	686	472	561	562	598	
800	1148	1411	916	1031	761	517	623	617	655		
1000	1265	1571	996	1126	828	555	678	666	706		
Tensão nominal maior que 8,7/15 kV	16	118	137	107	120	91	72	83	84	98	
	25	154	179	138	155	117	92	106	108	125	
	35	186	217	166	187	139	109	126	128	149	
	50	225	259	199	221	166	128	148	151	175	
	70	279	323	245	273	205	156	181	184	211	
	95	341	394	297	329	247	186	215	219	250	
	120	393	454	340	375	283	211	244	248	281	
	150	448	516	385	423	320	236	273	278	311	
	185	513	595	437	482	363	265	307	312	347	
	240	604	702	510	560	425	306	355	360	395	
	300	690	802	578	633	481	342	398	404	439	
	400	800	933	661	723	550	386	452	457	491	
	500	912	1070	746	817	622	431	507	511	544	
	630	1032	1225	836	920	698	477	568	568	602	
	800	1158	1361	927	1013	780	525	632	628	660	
1000	1275	1516	1009	1108	849	565	688	680	712		

Fonte: NBR 14039.

ANEXO S- Tabela 29 da NBR 14039

		Métodos de instalação definidos na tabela 26									
		Seção mm <sup>2</sup>	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV	10	67	81	61	71	51	42	49	50	60	
	16	88	106	80	93	67	55	63	65	77	
	25	116	140	105	121	87	70	81	83	98	
	35	142	172	127	147	105	83	96	99	117	
	50	171	208	152	176	126	98	114	117	137	
	70	214	259	188	217	156	120	139	142	166	
	95	262	317	228	262	188	143	166	169	197	
	120	303	367	263	300	216	163	189	192	222	
	150	346	418	297	338	245	182	211	215	246	
	185	398	480	339	385	279	205	239	243	276	
	240	472	566	398	448	328	238	277	281	316	
	300	541	649	453	508	373	267	312	316	352	
	400	635	763	525	586	433	305	357	361	398	
	500	735	885	601	669	496	345	406	409	447	
	630	848	1026	685	763	566	388	461	462	501	
800	965	1167	770	856	640	432	519	517	556		
1000	1083	1324	853	953	709	473	576	568	610		
Tensão nominal maior que 8,7/15 kV	16	91	106	82	93	70	56	64	65	76	
	25	119	139	107	121	91	71	82	83	97	
	35	144	169	129	145	108	84	98	99	116	
	50	174	201	154	172	129	100	115	117	137	
	70	217	251	190	212	159	121	141	143	166	
	95	264	306	230	256	192	145	168	170	196	
	120	306	354	264	293	220	164	191	193	221	
	150	348	402	299	330	248	183	213	216	246	
	185	400	465	341	377	283	207	241	244	276	
	240	472	550	399	440	333	239	280	282	316	
	300	541	630	454	498	378	269	315	317	352	
	400	634	740	525	575	437	306	361	363	399	
	500	733	858	601	657	501	347	410	412	448	
	630	845	994	686	750	572	391	465	465	502	
	800	961	1119	774	837	649	437	526	522	559	
1000	1081	1270	858	934	722	479	584	576	614		

Fonte: NBR 14039.

ANEXO T- Tabela 30 da NBR 14039

		Métodos de instalação definidos na tabela 25									
		Seção mm <sup>2</sup>	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV		10	97	116	88	102	75	60	68	70	84
		16	127	152	115	133	97	76	88	90	107
		25	167	201	150	173	126	98	112	115	136
		35	204	245	182	209	153	117	134	137	162
		50	246	297	218	250	183	138	158	162	190
		70	307	370	269	308	225	168	192	197	229
		95	376	453	327	372	273	200	229	235	270
		120	435	523	375	425	313	227	260	266	303
		150	496	596	424	479	354	254	291	298	336
		185	568	683	482	543	403	286	328	335	375
		240	672	802	564	630	472	330	379	387	427
		300	767	918	639	712	535	369	426	434	473
		400	890	1070	731	814	613	416	483	490	529
		500	1015	1229	825	920	693	465	543	548	588
	Tensão nominal maior que 8,7/15 kV		630	1151	1408	924	1035	777	515	609	609
		800	1289	1580	1022	1146	863	565	676	671	712
		1000	1421	1762	1112	1253	940	608	738	725	769
		16	131	151	118	132	102	78	90	91	106
		25	171	199	153	171	131	100	114	116	135
		35	207	240	184	206	156	118	136	138	161
		50	250	286	220	244	187	139	160	163	189
		70	b	357	272	301	230	169	195	198	228
		95	379	436	329	362	278	202	232	236	269
		120	438	503	377	414	319	229	263	267	303
		150	498	572	426	467	360	256	294	299	336
		185	571	660	484	532	409	288	331	337	375
		240	672	779	565	619	479	332	383	389	427
		300	768	891	641	699	542	372	430	436	475
		400	891	1037	734	800	621	420	488	493	531
	500	1018	1192	829	905	703	469	549	553	590	
	630	1155	1367	930	1020	790	521	616	616	653	
	800	1297	1518	1033	1124	882	574	686	682	718	
	1000	1430	1694	1125	1231	961	619	748	739	775	

Fonte: NBR 14039.

ANEXO U- Tabela 31 da NBR 14039

		Métodos de instalação definidos na tabela 25									
		Seção mm <sup>2</sup>	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV	10	75	89	68	79	58	51	53	54	64	
	16	98	118	89	103	75	66	68	70	83	
	25	129	156	116	134	98	85	87	89	106	
	35	158	190	141	162	118	102	104	106	126	
	50	191	231	169	194	141	121	123	126	148	
	70	239	288	209	240	175	147	150	153	179	
	95	292	352	253	289	212	177	179	182	212	
	120	338	408	291	331	243	201	203	207	239	
	150	385	464	329	374	275	226	227	231	266	
	185	443	534	376	425	314	256	257	261	298	
	240	525	629	441	495	370	298	298	303	341	
	300	603	722	502	561	421	337	336	341	381	
	400	708	850	582	648	488	387	386	389	430	
	500	820	986	666	740	560	440	439	442	483	
	630	947	1145	760	844	639	499	498	499	542	
800	1079	1302	856	948	723	560	562	559	603		
1000	1213	1480	950	1057	803	618	624	616	663		
Tensão nominal maior que 8,7/15 kV	16	101	117	91	102	79	68	69	70	82	
	25	133	154	118	133	102	87	89	90	105	
	35	160	186	143	160	121	103	105	107	125	
	50	194	222	171	189	145	123	124	126	147	
	70	241	278	211	234	179	150	152	154	178	
	95	294	339	255	282	216	179	181	183	211	
	120	340	391	293	323	247	204	205	208	239	
	150	387	445	330	363	279	229	230	232	265	
	185	444	516	377	416	318	259	260	262	298	
	240	524	610	441	485	374	302	302	304	341	
	300	601	699	501	550	425	340	340	342	381	
	400	705	822	581	635	493	390	389	391	431	
	500	815	953	665	726	565	444	443	444	484	
	630	941	1106	760	829	646	504	503	503	543	
	800	1070	1244	857	926	733	568	569	565	606	
1000	1205	1414	953	1034	815	628	632	624	666		

Fonte: NBR 14039.