

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FABIO BUENO SILVA  
HENRIQUE JOSÉ DE MENDONÇA KARPEM  
JUAREZ SILVEIRA DA ROSA**

**ESTUDO DE PERDAS DE POTÊNCIA EM CONDUTORES RÍGIDOS  
EM CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO.**

**CURITIBA  
2022**

**FABIO BUENO SILVA  
HENRIQUE JOSÉ DE MENDONÇA KARPEM  
JUAREZ SILVEIRA DA ROSA**

**ESTUDO DE PERDAS DE POTÊNCIA EM CONDUTORES RÍGIDOS  
EM CIRCUITOS BAIXA TENSÃO.**

**STUDY OF POWER LOSSES IN RIGID CONDUCTORS  
IN LOW VOLTAGE CIRCUITS.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Dr. Carlos Alberto Dallabona

**CURITIBA  
2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FABIO BUENO SILVA  
HENRIQUE JOSÉ DE MENDONÇA KARPEM  
JUAREZ SILVEIRA DA ROSA**

**ESTUDO DE PERDAS DE POTÊNCIA EM CONDUTORES RÍGIDOS  
EM CIRCUITOS DE BAIXA TENSÃO.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07 de Junho de 2022

---

Prof. Carlos Alberto Dallabona

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Luiz Erley Schafranski

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Uilian José Dreyer

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA**

**2022**

## AGRADECIMENTOS

**Fabio** - Agradeço primeiramente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todos os profissionais que nela trabalham para manter a estrutura da mesma, desde aos profissionais da limpeza até a reitoria da universidade, por me fornecerem um ambiente propício e muito bem cuidado para poder receber a aprendizagem a mim fornecida. Um agradecimento especial ao Professor Dr. Carlos Alberto Dallabona, por acreditar em nosso trabalho e nos fornecer todo o apoio e conhecimento para nos guiar durante nosso percurso. Agradeço também Dr Luiz Erley Schafranski e Dr. Uilian José Dreyer por aceitar em fazer parte da banca avaliadora deste trabalho e iluminar mais ainda o que nele está contido.

Faço também um agradecimento aos professores desta universidade, o qual me passaram com todo seu conhecimento com clareza e paciência. Na qual vale se agradecer especialmente os professores Ney José A. Kloster, Daniel Flores Cortez, Edson Pinheiro de Lima, Luiz Erley Schafranski, Marcelo Barcik, Vilmair Ermenio Wirmond, Violeta Maria Estephan, Andrea Lucia Costa e Carlos Alberto Dallabona, vocês me marcaram ao longo desse período e levarei com todo o carinho as lembranças do conhecimento a mim passado através dos senhores.

Não posso deixar de agradecer à minha família, que me apoiou durante todo o percurso desta universidade, diretamente a minha mãe Maria de Lourdes Bueno e meu irmão Gustavo Bueno Silva e em especial ao meu pai Euclides da Silva, e à minha avó Helena Ferreira Bueno, que festejaram comigo o meu ingresso nesta instituição, mas infelizmente não irão ver minha conclusão, vocês me deixarão saudades eternas. Não podendo também esquecer da mais nova integrante da minha família, que foi a principal fonte de força e motivo da minha cura da depressão, a minha bela cadelinha Ivy.

Agradeço aos meus colegas de curso, os quais foram essenciais para a formação completa como profissional, em especial aos meus amigos Henrique e Juarez, na qual realizamos juntos este trabalho.

**Henrique** – Agradeço primeiramente a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela oportunidade de concluir este ciclo que me proporcionou muitos conhecimentos para a conclusão deste curso, igualmente a secretaria do curso DAELT.

A minha família que me apoiou desde o início, partindo da escolha do que cursar, do andamento até a conclusão do mesmo.

Ao professor Dr. Carlos Alberto Dallabona que aceitou nos orientar e nos auxiliou sempre que necessário para a conclusão desta etapa, agradeço também aos professores Dr Luiz Erley Schafranski e Dr. Uilian José Dreyer pelo auxílio desta avaliação.

Agradeço ao Fábio Bueno Silva e ao Juarez Silveira da Rosa pelo apoio e me ajudarem nesse período e acreditarem em minha pessoa para auxiliá-los na formação deste trabalho durante períodos turbulentos.

Aos professores e colegas que foram pilares para a conclusão deste ciclo.

**Juarez** - Agradeço primeiramente a Deus, por permitir que todas as conquistas em minha vida se concretizassem.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná sou grato, pois me proporcionou o conhecimento necessário para concluir esse estudo, bem como, à Secretaria do Curso DAELT pela cooperação.

Igualmente, externo minha gratidão ao meu orientador Professor Dr. Carlos Alberto Dallabona pelo empenho, dedicação, auxílio e sabedoria com que me guiou nessa trajetória, assim como o apoio do Professor Dr. Luiz Erley Schafranski e Professor Dr. Uilian José Dreyer.

Aos meus colegas pela força e incentivo. Particularmente ao Fabio Bueno Silva e Henrique José de Mendonça Karpem meus sinceros agradecimentos.

Agradeço, sobretudo, a minha família, que esteve ao meu lado me fortalecendo constantemente durante todo o momento.

Deixo aqui meu sincero obrigado a todos aqueles que, de alguma maneira, me ajudaram nessa caminhada.

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.  
(SCHOPENHAUER; ARTHUR: 1851).

## RESUMO

O presente trabalho se embasa em estudar circuitos elétricos que estão fora das normas de instalação, seja por condutores subdimensionados, condutores antigos e outros, além de comparar estes dados com o circuito corrigido segundo as normas. Busca-se continuamente formas mais econômicas, adequadas e viáveis para o consumo de energia elétrica, incluindo a adequação às normas, pois quanto mais economia e segurança melhor para o consumidor e para fornecedor. A pesquisa parte de estudo referencial teórico, seguida de estudo de caso com levantamento de instalações residenciais existentes que apresentam possíveis não-conformidades com as normas em vigor e perdas de energia. O experimento em campo inclui levantamento e medição das condições de grandezas elétricas, que permitam a análise, proposta e implantação de melhorias, com nova medição para verificação efetiva da viabilidade pós-intervenção. A análise inclui o desenvolvimento de um modelo de procedimento, de modo a permitir um grau de generalização da solução aplicada. Na execução das medições, foram encontradas não-conformidades no que se remete a ausência de disjuntores de proteção para sobre tensão e fiação incompatíveis. Observou-se que quanto maior a sobrecarga no condutor, mais influenciará negativamente para o rendimento da instalação em que opera, sendo necessário trocar o mesmo evitando um consumo desnecessário e perigoso de energia.

**Palavras-chave:** Instalações Elétricas; Linhas Elétricas; Perdas de Energia.

## **ABSTRACT**

The present work is based on studying electrical circuits that are outside the installation standards, whether by undersized conductors, old conductors and others, in addition to comparing these data with the circuit corrected according to the standards. More economical, adequate and viable ways to consume electricity are continually sought, including compliance with standards, because the more savings and safety, the better for the consumer and the supplier. The research starts from a theoretical referential study, followed by a case study with a survey of existing residential installations that present possible non-conformities with the regulations in force and energy losses. The field experiment includes surveying and measuring the conditions of electrical quantities, which allow the analysis, proposal and implementation of improvements, with a new measurement for effective verification of post-intervention feasibility. The analysis includes the development of a procedural model, in order to allow a degree of generalization of the applied solution. In the execution of the measurements, non-conformities were found in what refers to the absence of protection circuit breakers for over voltage and incompatible wiring. It was observed that the greater the overload on the conductor, the more it will negatively influence the performance of the installation in which it operates, being necessary to change it, avoiding unnecessary and dangerous consumption of energy.

**Key-words:** Electrical Installations; Electric Lines; Energy Losses.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
FEM	Força Eletromotriz
LKC	Lei de Kirchhoff das Correntes
LKT	Lei de Kirchhoff das Tensões
NBR	Normas Brasileiras
RMS	Raiz Média Quadrática
TUG	Tomada de Uso Geral
TUE	Tomada de Uso Específico
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

T	Temperatura
m	Metro
kg	Quilograma
s	Segundo
A	Ampere
R	Resistência Elétrica
K	Kelvin
cd	Candela
C	Coulomb
V	Volts
W	Watt
J	Joules
N	Newton
P	Potência

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de medição montada .....	36
Figura 2 - Potência x corrente circuito real.....	41
Figura 3 - Potência x corrente circuito simulado.....	43
Figura 4 - Potência x corrente estabelecido por Norma.....	47
Figura 5 - Circuito com parâmetros dentro de norma .....	50
Figura 6 - Tabela corrigindo o circuito devido à queda de tensão .....	50
Figura 7 - Tabela corrigindo o circuito devido a corrente acima da estabelecida pela norma.....	51
Figura 8 - Tabela corrigindo o circuito devido a potência dissipada nos condutores acima de 5W/m .....	51
Figura 9 - Circuito identificando queda de tensão fora dos limites nos condutores corrigidos, já com a indicação de um maior .....	52
Figura 10 - Circuito identificando queda de tensão fora dos limites nos condutores corrigidos, já com a indicação de um maior (todas as iterações feitas) .....	53
Figura 11 - Circuito identificando queda de tensão fora dos limites nos condutores corrigidos, já com a indicação de um maior (todas as iterações feitas a partir de um cabo 6mm <sup>2</sup> ).....	53
Figura 12 - Tabela mostrando que não é possível calcular os valores dentro da norma para o circuito informado .....	54
Figura 13 - Tabela corrigindo o circuito 7 medido fora de norma .....	55
Figura 14 - Tabela corrigindo o circuito 24 medido fora de norma .....	55
Figura 15 - Tabela corrigindo o circuito 24 medido fora de norma .....	56
Figura 16 - Wattímetros operando em paralelo, a fim de conferir se estão coerentes .....	61
Figura 17 - circuito ideal, na esquerda fonte e na direita carga .....	61
Figura 18 - circuito ideal, na esquerda fonte e na direita carga .....	61
Figura 19 - circuito exemplo 1, na esquerda fonte e na direita carga .....	62
Figura 20 - circuito exemplo 1, na esquerda fonte e na direita carga .....	62
Figura 21 - circuito exemplo 2, na esquerda fonte e na direita carga .....	62
Figura 22 - circuito exemplo 2, na esquerda fonte e na direita carga .....	62
Figura 23 - Tabela 33 NBR5410 .....	63

<b>Figura 24 - Tabela 36 NBR5410 .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 25 - Tabela 1 NBR NM 280 .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 26 - Tabela 3 NBR NM 280 .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perdas Condutores de Bitola 2,5 mm <sup>2</sup> .....	38
Tabela 2 - Perdas Condutores de Bitola 2,5 mm <sup>2</sup> de acordo com a Norma .....	39
Tabela 3 - Simulação de Perdas nos Condutores de Bitola 2,5 mm.....	42
Tabela 4 - Perdas Condutores de Bitola 4 mm <sup>2</sup> .....	44
Tabela 5 - Perdas Condutores de bitola 6 mm <sup>2</sup> .....	44
Tabela 6 - Perdas nos condutores com bitola corrigida .....	46

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b> .....	<b>16</b>
1.1.1	Delimitação do Tema .....	16
<b>1.2</b>	<b>Problematização</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>17</b>
1.3.1	Objetivo Geral .....	17
1.3.2	Objetivos Específicos .....	18
<b>1.4</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>18</b>
<b>1.5</b>	<b>Metodologia da Pesquisa</b> .....	<b>19</b>
<b>1.6</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Fundamentos de Circuitos Elétricos</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Perdas em condutores</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Instalações Elétricas</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4</b>	<b>Normas técnicas</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5</b>	<b>Linhas elétricas</b> .....	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Corrente e potência de sobrecarga em condutores</b> .....	<b>29</b>
<b>2.7</b>	<b>Norma de perda de carga em condutores</b> .....	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Realização das Medições</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Organização e análise de dados</b> .....	<b>37</b>
<b>4.4</b>	<b>Planilha de verificação de circuitos segundo a norma</b> .....	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>57</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa estudar e relacionar não-conformidades e perdas em condutores em instalações elétricas residenciais em desacordo com a norma NBR 5410.

### 1.1 Contextualização

A proposta se embasa em estudar circuitos elétricos que estão fora das normas de instalação, seja por condutores subdimensionados, condutores antigos e outros, além de comparar estes dados com o circuito corrigido segundo a norma NBR 5410.

No decorrer do Curso de Engenharia Elétrica, o grupo percebeu que havia edificações com não conformidades referentes à instalação elétrica. Diante desta observação, um dos componentes da equipe sugeriu efetuar medições em instalações elétricas residenciais a fim de verificar perdas decorrentes das não conformidades, incluindo medições de tensão, corrente e perda de potência.

#### 1.1.1 Delimitação do Tema

O tema implica estudar os seguintes itens, com o foco nos condutores, que operam fora de norma NBR-5410:

- Circuitos com carga acima de 5kW, que são alimentados por condutores com seção inferior à exigida por norma;
- Circuitos de tomadas de uso geral - TUG, preferencialmente em sala ou cozinha e com o cabeamento com dimensões menores que as exigidas por normas, em condutores isolados;
- Circuitos de tomadas de uso específico - TUE que alimentam equipamentos de aquecimento ou com motor, por exemplo, geladeira ou máquina de lavar roupa e com cabeamento com dimensões menores do que as exigidas por norma, em condutores isolados;
- Propor tabelas para cálculo direto das perdas em condutores isolados, em função da bitola, comprimento de circuito e nível de sobrecarga, embasando-se em dados obtidos através de aferições em casos reais e similares, considerando também os custos envolvidos.



## 1.2 Problematização

Um sistema elétrico residencial visa suprir as necessidades dos moradores, seguindo os padrões de segurança, objetivando economia e bom funcionamento. A instalação elétrica também deve ser acessível, flexível e ter capacidade de reserva. Entretanto, problemas são encontrados e podem interferir no resultado de toda a instalação elétrica residencial. Tendo conhecimento dessas falhas evita-se problemas. Alguns deles são: sobrecarregar disjuntores, utilizar disjuntores incompatíveis com os cabos elétricos, utilizar cabos com bitolas incorretas, adquirir fios e cabos de qualidade inferior, não realizar o aterramento, utilizar adaptadores de tomadas, popularmente chamados de benjamins ou “T” e extensões de forma inadequada, deixar de realizar as revisões e manutenções, trocar o chuveiro por um mais potente incompatível com a potência suportada pelo circuito, deixar a fiação exposta e outros.

Para que todas as necessidades sejam atendidas com segurança e de forma adequada, as normas técnicas que regulamentam as instalações elétricas devem ser seguidas. Além disso, um profissional capacitado deve ser contratado para realizar a instalação.

## 1.3 Objetivos

Este projeto tem como intenções finais levantar perdas e não-conformidades em condutores subdimensionados, ou funcionando por um longo período sem manutenção adequada, relacionando a perda de energia nos cabamentos com relação à bitola, à corrente que nele flui, ao consumo real e comparar valores antes e após a adequação.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Levantar perdas e não-conformidades em condutores elétricos em instalações elétricas residenciais de baixa tensão.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar problemas em linhas elétricas de instalações elétricas residenciais;
- Levantar os valores numéricos de perda de potência de circuitos instalados nas residências analisadas;
- Analisar e comparar os dados com o circuito corrigido segundo a norma NBR 5410.

### 1.4 Justificativa

Um elemento essencial para uma moradia adequada é uma boa instalação elétrica. Para isso, é importante buscar atingir todas as necessidades dos moradores. Nesse momento, deve-se levar em conta o número de moradores, a rotina e os aparelhos mais utilizados ou previstos. Os circuitos terminais devem ser projetados considerando aspectos técnicos como sobrecorrentes e sobrecargas (ABNT,2004), além de aspectos econômicos, sendo que potências elevadas resultam na necessidade de condutores de maior seção nominal, o que dificulta a execução da instalação da fiação e as ligações aos terminais dos aparelhos de utilização, como interruptores, tomadas e luminárias. Deve ser instalado um equipamento de proteção, usualmente um disjuntor termomagnético, geralmente denominado simplesmente “disjuntor” para cada circuito e um disjuntor geral no quadro de distribuição, para a proteção de pessoas e da instalação. Quando são ligadas cargas acima das suportadas pelo circuito, há possibilidade de ocorrência de sobrecarga e curto-circuito, que podem gerar incêndios e queima de aparelhos elétricos. Para o correto funcionamento de uma instalação residencial diversos cuidados devem ser tomados, desde o cumprimento de normas, correto dimensionamento de componentes e cabos, escolha adequada de interruptores, tomadas e lâmpadas e um ponto muito importante que é uma adequada divisão dos circuitos da instalação. Considerando que a qualidade das instalações elétricas residenciais no Brasil é variável, observa-se ocorrências de circuitos que não são adequadamente projetados e também instalações que sequer tem um quadro de distribuição. Também é preciso destacar a importância de analisar as não

conformidades encontradas, como forma de buscar suas causas, a fim de permitir ações preventivas, fazendo um processo de gestão de risco, procurando eliminar a recorrência e repetição de problemas. Dessa forma, busca-se cada vez mais formas mais econômicas, adequadas e viáveis para o consumo de energia elétrica, incluindo a adequação às normas, pois quanto mais economia e segurança melhor para o consumidor e para fornecedor.

### **1.5 Metodologia da Pesquisa**

A pesquisa parte de estudo do referencial teórico, seguida de estudo de caso com levantamento de instalações residenciais existentes que apresentam possíveis não-conformidades com as normas em vigor e perdas de energia em função dessas não-conformidades. O trabalho em campo inclui levantamento e medição das condições de grandezas elétricas, que permitam a análise, a proposta e implantação de melhorias, com nova medição para verificação efetiva da viabilidade pós-intervenção. A análise inclui o desenvolvimento de um modelo de procedimento, de modo a permitir um grau de generalização da solução aplicada.

### **1.6 Estrutura do Trabalho**

Esse trabalho de conclusão de curso foi estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução, onde foram explanadas as motivações para este projeto, bem como seus objetivos, procedimentos e cronograma de execução;
- Capítulo 2 – Referencial Teórico, onde consta todo o estudo e pesquisa realizada para suportar o que foi desenvolvido neste trabalho;
- Capítulo 3 – Metodologia de Pesquisa;
- Capítulo 4 - Desenvolvimento, onde está disponível todas as análises, tratamentos de dados que foram realizados e resultados;
- Capítulo 5 – Conclusão, onde a equipe fez suas considerações a respeito dos resultados obtidos e os aprendizados adquiridos;

- Referências.
- Anexos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A revisão bibliográfica realizada busca clarificar e fundamentar os assuntos tratados neste trabalho, de forma a orientar e esclarecer as etapas descritas nos capítulos seguintes. A pesquisa e levantamento teórico foram baseados na análise de livros e artigos de autores relevantes.

Nessa área, o título genérico “Instalações Elétricas”, com ou sem complementos ou subtítulos consta em várias referências, como Cotrim (2003), Creder (2007), Niskier e MacCintyre (2021), Walenia (2008), Cavalin e Cervelin (2017), Lima Filho (2011), Mamede Filho (2017), Negrisola (1987), Nery (2018), Carvalho Jr (2019), Gebran e Rizzato (2016), Rodrigues, Guimarães e Souza (2017) e Ferreira (2018). Os anos indicados são das edições consultadas e citadas neste trabalho, sendo que vários deles tem edições mais recentes disponíveis. A questão da edição é especialmente relevante nesta área, pois o projeto, execução e manutenção de instalações elétricas tem estreita relação com as normas técnicas, que tem atualizações e revisões periódicas e com isso requerem a respectiva adequação das obras que abordam o tema. Durante a realização desta pesquisa, a norma mais relevante, a NBR 5410 da ABNT, está na versão de 2004, o que recomenda especial cuidado com publicações anteriores à mesma, pois podem estar desatualizadas.

### **2.1 Fundamentos de Circuitos Elétricos**

Muitos ramos da engenharia elétrica têm como princípio a teoria dos circuitos elétricos, como geração de energia, máquinas elétricas, controle, eletrônica, comunicações e instrumentação (ALEXANDER e SADIKU, 2013).

Na engenharia elétrica o foco de interesse é a comunicação ou a transmissão de energia de um ponto a outro, para isso é preciso uma interconexão de dispositivos elétricos.

Os circuitos elétricos são usados em inúmeros sistemas elétricos para realizar diferentes tarefas. Nesse sentido, é possível verificar o comportamento de um circuito, ou seja, como ele responde a uma determinada entrada de energia, de que forma os elementos e dispositivos interconectados interagem no

circuito. Para tanto, o estudo dos conceitos básicos se faz necessário, tais como: carga, corrente, tensão, elementos de circuito, potência e energia assim como, estabelecer um sistema de unidades, pois os técnicos e engenheiros eletricitistas lidam com quantidades mensuráveis. Essas medições devem utilizar uma linguagem padrão onde os profissionais da área possam ser capazes de se entender.

Segundo Cotrim (2008), circuito elétrico é “conjunto de corpos ou de meios pelo qual pode haver corrente”. O mesmo autor conceitua sistema elétrico como “um circuito ou conjunto de circuitos elétricos inter-relacionados, constituídos para atingir determinado objetivo” e instalação elétrica como “conjunto de componentes elétricos associados e com características coordenadas entre si, constituído para uma finalidade determinada”. Assim, a diferenciação entre sistema e instalação elétrica, considera que sistema, por ser constituído de circuitos, inclui elementos que conduzem ou podem conduzir corrente elétrica enquanto o termo “instalação elétrica” é mais amplo, incluindo também elementos que não conduzem corrente, porém são necessários, como condutos, caixas e estruturas de suporte (COTRIM, 2008).

Um dos elementos básicos de circuitos elétricos deriva da lei de Ohm, que afirma que “*a tensão em um resistor é diretamente proporcional à corrente que flui através dele*”. Assim, dado o valor de tensão  $V$ , corrente  $I$  e resistência  $R$ , tem-se que:

$$V = R \times I$$

A unidade de medida da resistência elétrica é o Ohm, sendo que 1 Ohm corresponde à resistência elétrica de um fio de mercúrio com comprimento de 1,063m a 0°C com uma seção de 1 mm<sup>2</sup> (RODRIGUES, GUIMARÃES E SOUZA, 2017). Nestas condições uma diferença de potência de 1 V aplicada aos terminais de um elemento de circuito faz circular uma corrente de 1 A.

Está é uma das equações centrais da eletricidade, relacionando as três principais grandezas da área, e é creditada a Georg Simon Ohm a descoberta, sendo atribuído o seu nome à unidade de medida de resistência elétrica, Ohm, simbolizado com a letra grega ômega maiúscula ( $\Omega$ ).

Uma vez que a resistência pode variar de 0 ao infinito, é interessante fazer as comparações nestes dois extremos. Em um elemento com resistência nula ( $R = 0 \Omega$ ), ao aplicar na fórmula de lei de Ohm teremos:

$$V = R \times I; \text{ se } (R = 0)$$

$$V = 0 \times I = 0;$$

Isso nos dá a conclusão que: se em um circuito não houver resistência não haverá queda de tensão e a corrente poderá assumir qualquer valor. Em circuitos prediais, este é um valor de muito interesse, pois este seria o valor de resistência ideal para os condutores, pois permitiriam a passagem da corrente elétrica sem provocar uma queda de tensão ou consumo de energia.

De mesmo modo, se tomarmos o valor de resistência tendendo ao infinito teremos:

$$V = R \times I ;$$

$$I = \frac{V}{R};$$

$$I = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{V}{R} = 0;$$

Ou seja, para um material que tenha uma resistência infinitamente alta (muito maior do que a tensão), não haverá corrente no circuito, criando assim um circuito aberto. Em termos de condutores elétricos este valor é desejado na isolamento dos cabos, ao envolver o material condutor por um material cujas características intrínsecas gerem uma resistência tão alta que impeça tanto quanto possível a circulação de corrente através dele.

Outro conceito fundamental é de energia, que é tudo aquilo capaz de produzir trabalho, de realizar uma ação (CREDER, 2007), tendo como unidade o Joule (J).

A energia considerada durante um certo tempo é denominada potência elétrica, que indica o trabalho que pode produzir movimento, calor, luz, etc (FERREIRA, 2018). Assim a potência representa a energia no tempo, no sistema internacional de unidades J/s. Na área de instalações elétricas, a potência é usualmente representada pela unidade denominada Watt (W).

A potência elétrica também pode ser entendida como a capacidade dos aparelhos para solicitar uma quantidade de energia elétrica, em maior ou menor tempo, e transformá-la em outro tipo de energia, como luz, calor, movimento e outros (CARVALHO JR, 2019)

A expressão básica da potência elétrica e expressões derivadas são:

$$P = V \times I;$$

$$P = R \times I^2;$$

Temos então, que se uma das grandezas tensão, corrente ou resistência for nula, a potência consumida também será nula, o que implica que não haverá perda de energia.

Os conceitos e expressões acima representam os elementos básicos das grandezas consideradas, que são suficientes para os efeitos deste trabalho, que consideram a questão das perdas causadas pela resistência de condutores em instalações residenciais, o que pode ser realizado sem a necessidade do tratamento matemático que considera grandezas fasoriais complexas aplicadas às formas de onda de circuitos de corrente alternada, considerando além da resistência, os aspectos da indutância indutiva e capacitiva.

## **2.2 Perdas em condutores**

As perdas de energia em condutores elétricos consideradas neste trabalho, derivam da resistência elétrica destes componentes, a qual depende do tipo de material, do comprimento e da área da seção desse condutor, bem como da temperatura. Materiais bons condutores de eletricidade apresentam baixa resistência elétrica, em que os elétrons livres (mais externos) podem ser mais facilmente retirados dos átomos e materiais maus condutores são aqueles em que os elétrons estão rigidamente solidários aos núcleos atômicos e apresentam grande dificuldade para serem retirados por um estímulo externo (CREDER, 2007). Prata, cobre, ouro, alumínio e aço são bons condutores de eletricidade, enquanto materiais como porcelana, vidro e madeira são maus condutores, denominados usualmente isolantes elétricos.

Como a potência elétrica depende da resistência do condutor e da corrente elétrica que o percorre, conforme a expressão vista no item anterior, e mesmo os melhores condutores disponíveis tem um certo valor de resistência, haverá sempre uma perda de energia, representada pelo chamado efeito Joule, que é um fenômeno físico que decorre das colisões que ocorrem entre os



elementos da estrutura atômica, e que causam aumento de sua temperatura. Assim, a energia elétrica é transformada em perda de energia na forma de calor.

### **2.3 Instalações Elétricas**

As Instalações Elétricas devem ser realizadas dentro dos critérios técnicos que levem segurança a todos que delas dependem (CAVALIN e CERVELIN, 2017).

Uma instalação elétrica deve atender diversos requisitos para que possa ser considerada satisfatória, incluindo os seguintes (NERY, 2018):

- Satisfazer exigências funcionais necessárias ao ambiente;
- Ter uma vida útil compatível com a da edificação e de outras utilidades;
- Custos de instalação, manutenção e consumo economicamente viáveis;
- Atender às condições de segurança e conforto;

Segundo Cotrim (2008) os componentes de uma instalação elétrica incluem itens como equipamentos elétricos, aparelhos elétricos, linhas elétricas e dispositivos elétricos:

- Equipamento elétrico é uma unidade funcional completa e distinta, que exerce uma ou mais das funções de geração, transmissão, distribuição ou utilização da energia elétrica;
- Aparelho elétrico é um dispositivo que consome energia elétrica para a sua função principal;
- Linha elétrica é o conjunto de condutores elétricos com os elementos de sua fixação ou suporte ou proteção mecânica;
- Dispositivo elétrico é uma unidade que utiliza a energia eletromagnética para desempenhar uma função especificada.

### **2.4 Normas técnicas**

Instalações elétricas devem ser projetadas, executadas e mantidas em conformidade com as normas técnicas que tem aplicação compulsória, se

emitidas por uma entidade considerada competente para essa finalidade. No Brasil entidade responsável pela elaboração, revisão e distribuição das normas técnicas é a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (GEBRAN e RIZZATO, 2017) e na área de instalações elétricas a principal norma relacionada com este trabalho é a NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão. Esta norma, no tempo da realização deste trabalho, tem em vigor a edição de 2004.

A NBR 5410 aplica-se a instalações elétricas alimentadas sob tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1 500 V em corrente contínua (ABNT, 2004).

Além das normas ABNT existem outras como as Normas Regulamentadoras, que são expedidas pelo Ministério do Trabalho e geralmente estão correlacionadas de forma direta ou indireta com os normas ABNT (SANTOS Jr, 2016).

## **2.5 Linhas elétricas**

O dimensionamento dos condutores dos circuitos da instalação elétrica no Brasil é realizado através dos critérios definidos pela ABNT NBR 5410, que foi baseada na IEC 60364. Deve ser precedido de uma análise detalhada das condições de sua instalação e da carga a ser suprida (WALENIA, 2008).

Linhas elétricas, conforme acima exposto, incluem condutores elétricos e acessórios que os suportam e protegem fisicamente, como eletrodutos, isoladores e calhas. A NBR 5410 indica a possibilidade de uso de cobre e alumínio como materiais condutores, porém para instalações residenciais, como as estudadas neste trabalho, só podem ser empregados condutores de cobre, exceto em condutores de aterramento (NISKIER e MACINTYRE, 2021)

Com relação ao isolamento, a NBR 5410 prevê, além de condutor nú, as categorias de condutor isolado, cabo unipolar e cabo multipolar.

- Condutores nús são formados somente por material condutor, sem isolamento, usado em linhas aéreas e para aterramento;

- Condutores isolados são constituídos por um condutor mais uma camada de elemento isolante que o envolve e que deve ter capacidade de isolamento mínimo para uma tensão de 750V;
- Cabos unipolares, além da camada isolante, possui pelo menos mais uma camada, chamad cobertura, de maneira que o efeito seja de isolamento mínimo para 0,6/1 kV.
- Cabos multipolares tem isolamento e cobertura, porém são constituídos dev mais de um condutor isolado, ou seja, tem várias veias, sendo isolados para 0,6/1 kV;

Com relação aos materiais isolantes, a norma prevê polímeros termoplásticos como o cloreto de polivinila – PVC e polímeros termofixos como polietileno reticulado e borracha de etileno-propileno. Em instalações residenciais, o uso de condutores isolados com PVC é preponderante, sendo pouco utilizados condutores com outros tipos de isolamento, devido ao menor preço do PVC e de suas características que o tornam adequado para esse tipo de uso.

Com relação ao tipo de encordoamento, as normas consideram o fio sólido, formado por um único condutor e condutores formados por mais de um condutor, ou um grupo de fios, classificados em classes de encordoamento, conforme sua flexibilidade.

A NBR 5410 prescreve proteção obrigatória das instalações contra sobrecorrentes, entre outros fatores. Sobrecorrentes são correntes com valores acima da corrente nominal prevista para o circuito, podendo ser de sobrecarga ou de curto-circuito. Sobrecorrentes devem ser interrompidas em condições anormais, dentro de condições específicas, em módulo e em tempo de duração (LIMA FILHO, 2011).

O item 5.3 da NBR5410/04 trata da Proteção Contra Sobrecorrentes, sendo obrigatório que todos os condutores vivos sejam protegidos por um ou mais dispositivos de seccionamento automático contra sobrecarga e curto-circuito.

Para o dimensionamento dos condutores a NBR 5410 indica seis critérios técnicos:

- Seção mínima do condutor;

- Capacidade de condução de corrente;
- Limite de queda de tensão;
- Proteção contra sobrecargas;
- Proteção contra curto-circuito;
- Proteção contra contatos indiretos;

Os três primeiros critérios referem-se especificamente aos condutores enquanto os três últimos envolvem também os dispositivos de proteção.

A seção mínima de condutores de cobre é  $1,5\text{mm}^2$  para circuitos de iluminação e  $2,5\text{mm}^2$  para circuitos de força.

A capacidade de condução de corrente considera, entre outros, o isolamento aplicado, definindo valores de temperaturas limite para o funcionamento contínuo, para condições de sobrecarga e de curto-circuito.

Além dos critérios técnicos previstos na NBR 5410, fabricantes de fios e cabos elétricos tem recomendado também verificar a questão do dimensionamento econômico, considerando o custo de perdas durante a vida útil do condutor, sendo que a NBR 15920 (ABNT, 2011) trata dessa questão com base em perdas por efeito Joule. Também a NBR 16819 (ABNT, 2020) norma que aborda a eficiência energética em instalações elétricas aborda a questão, considerando que o aumento da seção dos condutores pode reduzir as perdas de energia, e para isso deve ser avaliada a economia ao longo do tempo em relação ao custo adicional desse aumento de seção.

Para o dimensionamento dos condutores, de acordo com a norma, é necessário conhecer o material condutor da linha e o método de referência, que é objeto da Tabela 33 da norma NBR 5410, que consta em anexo, e que apresenta uma listagem de possibilidades de instalar os condutores, incluindo o caso usual em instalações residenciais de condutores no interior de eletrodutos de PVC embutidos em alvenaria ou em lajes.

Cabe ressaltar a importância que deve ser dada na busca da qualidade nas instalações elétricas de baixa tensão e seguir as prescrições estabelecidas na NBR 5410, desde o projeto, execução, verificação final, operação ou manutenção para garantir a segurança das pessoas e a proteção do bem. Os acidentes geralmente são provocados por problemas nas instalações elétricas com não-conformidades. A norma brasileira NBR 5410 fixa as condições que as

instalações de baixa tensão devem atender, a fim de garantir seu funcionamento adequado, a segurança das pessoas e animais domésticos e a conservação de bens.

Linhas elétricas quando projetadas ou executadas de forma inadequada, além de introduzirem perdas indevidas, prejudicam a operação da instalação e aumentam o risco de incêndio, o que é agravado por inadequado dimensionamento da proteção (MAMEDE FILHO, 2017).

Correntes de sobrecarga produzem aumento da corrente no circuito, que em geral se situam em até 10 vezes a corrente nominal, produzindo efeitos térmicos (LIMA FILHO, 2011). Essas correntes, em geral são moderadas e limitadas em termos de intensidade e tempo de duração, segundo uma curva tempo x corrente com características inversas entre si.

## **2.6 Corrente e potência de sobrecarga em condutores**

Os condutores isolados são classificados na NBR 5410 em função da temperatura limite do isolante utilizado, sendo considerada a temperatura máxima para serviço contínuo, a temperatura limite de sobrecarga e a temperatura limite de curto-circuito, que no caso do isolamento com PVC são, respectivamente 70°C, 100°C e 160°C para as bitolas usadas neste tipo de instalação. A temperatura de serviço contínuo indica a máxima temperatura que o condutor pode atingir em regime normal, independente de tempo de duração. A temperatura limite de curto-circuito indica a máxima temperatura que o condutor pode atingir em regime de curto-circuito, caracterizado por correntes geralmente elevadas em tempos curtos, geralmente inferiores a 1s.

A temperatura limite de sobrecarga indica um valor que os condutores devem suportar durante um certo tempo, pois são situações que ocorrem no funcionamento normal de uma instalação, embora acima dos valores nominais de corrente previstos. São situações como as correntes acima da nominal que acontecem durante o período de partida de motores de indução e que devem ser suportadas, pois fazem parte das características funcionais da instalação. A NBR 5410 considera que temperaturas de sobrecarga podem ocorrer durante um máximo de 100h em um período de 12 meses ou 500h durante a vida útil do

condutor. Os limites de temperatura para os condutores são efetivamente determinados pelo seu isolamento, uma vez que o material condutor, no caso o cobre, suporta temperaturas bem superiores.

No quesito da proteção contra correntes de sobrecarga, a NBR 5410 salienta que devem ser previstos dispositivos de proteção para interromper toda corrente de sobrecarga nos condutores dos circuitos antes que esta possa provocar um aquecimento prejudicial à isolação, às ligações, aos terminais ou às vizinhanças das linhas.

## **2.7 Norma de perda de carga em condutores**

Outra norma a ser levada em consideração para a realização deste trabalho é a norma NBR NM 280 – Condutores de Cabos Isolados (ABNT 2011), a qual parametriza os valores de referência para a fabricação de condutores sólidos, rígidos e encordoamentos para transporte de energia elétrica. Ela normatiza principalmente os valores de resistência máxima para os condutores em determinadas seções nominais. Esta é uma norma NM (Norma Mercosul) que indica sua aplicação no âmbito do Mercosul, que referencia uma iniciativa de integração regional da América Latina, e tem como membros fundadores Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (BRASIL, 2022).

A NBR NM 280 apresenta dados relativos a condutores classe 1, que são condutores sólidos compostos por um fio único, classe 2 que são condutores encordoados e classes 5 e 6, que são condutores flexíveis. Esta norma não inclui as classes 3 e 4 e indica que foram suprimidas por serem pouco usadas e podem ser substituídas pelas classes 2 e 5 respectivamente, para a maioria das aplicações. A nomenclatura das classes foi mantida conforme a prescrição original para evitar confusão.

- Classe 1 – condutores sólidos
- Classe 2 – condutores encordoados
- Classe 5 e Classe 6 – condutores flexíveis para cabos uni e multipolares

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa parte do referencial teórico, destinado a embasar em seguida um estudo de caso em instalações residenciais existentes que apresentam não conformidades com as normas em vigor e perdas de energia em função dessas não conformidades, em condutores de circuitos terminais.

A partir do objetivo de avaliar perdas e não conformidades em condutores elétricos em instalações residenciais, considerando as limitações de tempo e de acesso a uma amostra significativa de circuitos terminais, foi definido um estudo de caso que se concentrou em algumas residências dos membros da equipe, de conhecidos e parentes.

Assim, com as medições realizadas em poucos locais, definidos a partir da possibilidade de acesso aos mesmos, não fica caracterizado um estudo descritivo, com definição de universo e amostra representativa selecionada a partir de critérios técnicos. Ao optar por estudo de caso em uma amostra limitada, fica excluída uma generalização dos resultados obtidos, o que configura um trabalho restrito às instalações nas quais as medições foram realizadas e situações similares.

Nesse sentido o trabalho constitui também uma pesquisa de campo, decorrente de medições realizadas em situações reais.

A pesquisa inclui assim uma etapa de definição e agendamento de visitas para as medições, a realização das medições e a análise dos resultados em confronto com dados esperados em conformidade com as normas aplicáveis a esse tipo de instalação.

A etapa de definição e agendamento, considerando a pequena quantidade de locais, pode ser realizada através de contato direto e pessoal com os moradores, bem como, a autorização para a realização das medições, que implicam também na verificação das condições das instalações requerendo a abertura de quadros, caixas de passagem e caixas de derivação de equipamentos.

Por ocasião das visitas, o trabalho em campo inclui levantamento e medição das grandezas elétricas através de equipamento específico, para obtenção de dados que permitam a análise, conforme proposta, bem como,

sugestões e eventual implantação de melhorias, neste caso com a realização de nova medição para verificação efetiva da viabilidade pós-intervenção.

Os circuitos e trechos de condutores objeto do estudo devem ser verificados de forma a evitar situações que podem interferir nas medições como, por exemplo, condutores com emendas ou derivações que podem causar perdas por problemas de contato e pontos de resistividade mais alta. Também nesse sentido devem ser verificados circuitos instalados da maneira usual em instalações residenciais, em eletrodutos de PVC embutidos em paredes de alvenaria e lajes, configurando a respectiva maneira de instalar definida na norma NBR 5410.

A análise inclui o desenvolvimento de um procedimento de cálculo, de modo a permitir a aplicação a outras situações semelhantes, viabilizando a verificação das condições de sobrecarga em condutores elétricos isolados, rígidos e flexíveis.



## 4 DESENVOLVIMENTO

Nessa seção são abordados os procedimentos de realização das medições, análise e resultados.

### 4.1 Realização das Medições

Para as medições, a equipe responsável adquiriu dois wattímetros digitais que operam em tensões de 80V a 260V, correntes de até 100A através de um transformador de corrente e precisão de 1%. Antes de utilizá-los para coletar os dados deste trabalho, foram aferidos para saber se estavam operando com concordância de valores e para isso foram colocados em paralelo junto à uma carga de 1500W, puramente resistiva (um aquecedor à óleo), e deixado em medição pelo período de aproximadamente 2 minutos, tempo assumido como base de estudo de medições de valor, pois estas foram feitas com circuitos que poderiam estar sub dimensionados, visando evitar transformar o teste em um experimento que pudesse ter caráter destrutivo de equipamento. Uma vista dos wattímetros em operação consta na Figura 16 que se encontra no Anexo do trabalho. Durante o teste, a princípio, foi observado, nos dois equipamentos, um consumo de 1360W, mantido ambos nesse patamar por alguns instantes, com uma queda de 10W repentinamente, também indicada por ambos os wattímetros. A tensão e a corrente indicadas foram iguais para ambos os equipamentos durante toda a medição, indicando que estes wattímetros medem os mesmos valores e podem ser usados como fonte de dados confiáveis para este trabalho, que usa efetivamente as diferenças de leitura entre esses equipamentos para o cálculo das perdas de potência.

Para obtenção dos dados, foram medidos 20 pontos distintos de tomadas, em 15 imóveis residenciais diferentes. As edificações analisadas variam de 10 a 40 anos o período de construção entre elas. Sendo cerca de 10 deles da mesma construtora.

Alguns destes circuitos não foram modificados durante os anos em que esteve em operação. Devido a isso, esses circuitos não apresentam não conformidades pois suas proteções estavam em níveis adequados, entretanto,

estes nos serviram de base de dados para confirmar os valores de resistência para estes cabos.

Alguns cuidados foram tomados para não incluir na análise valores que podem ter causas diversas do objeto da pesquisa, como emendas incorretas. Dessa forma, não houve a medição de alguns circuitos que tinham emendas entre os pontos de ligação dos wattímetros, pois estas poderiam interferir em alguns resultados, dependendo de como elas foram realizadas pelo profissional que executou esta instalação. Então, foram selecionadas tomadas que tinham condutores sem emendas entre si, o que dificultou a seleção de circuitos apropriados, ficando apenas circuitos de TUE disponíveis, ou circuitos de TUG próximos ao quadro de distribuição. . Verificou-se também que circuitos de iluminação estavam com pequenos valores de carga, pois foram projetados considerando iluminação incandescente e que foram substituídos ao longo do tempo por iluminação fluorescente e em seguida por LEDs, que requerem cerca de 1/10 da potência de lâmpadas incandescentes correspondente aproximadamente ao mesmo fluxo luminoso. Assim circuitos de iluminação não apresentaram sobrecargas e não conformidades e não constam nas análises apresentadas na sequência.

Os circuitos analisados são de condutores isolados com PVC, tendo temperatura de operação de 70°C e temperatura limite de sobrecarga de 90°C, instalados em eletrodutos de PVC embutidos em paredes de alvenaria ou em lajes, configurando a maneira de instalar B1 da NBR 5410, conforme tabela 33 dessa norma (tabela nos anexos).

## **4.2 Análise**

A NBR NM 280 (ABNT, 2011) indica dados de resistência para os condutores de cobre e alumínio, sendo nesse estudo verificado somente situações com condutores de cobre, visto que o alumínio não deve ser utilizado em instalações do tipo residencial, conforme estabelece a NBR 5410, além de também apresentar restrições para uso comercial e industrial.

A norma especifica os valores referidos a uma temperatura de 20°C, valor que corresponde à situação em que as medições foram realizadas, embora

a mesma norma indique os valores do coeficiente de correção de temperatura. Assim, como as medições foram realizadas em Curitiba e proximidades, onde a temperatura média mínima e máxima no período da medição (mês de março de 2022) é de 17°C e 25°C (CLIMATEMPO, 2022) respectivamente, as medições puderam ser feitas quando a temperatura média ambiente estava na faixa de referência da norma.

Foram usados neste estudo dados de condutores de cobre que a NBR NM 280 designa como fios revestidos, e que correspondem aos condutores isolados da NBR 5410.

Para analisar valores de consumo dos condutores, a base de comparação são os valores máximos de resistência de condutores segundo as Tabelas 1 e 3 da norma NBR NM 280, sendo que na Tabela 1 da norma, constam os dados de valores de resistência máximo permitidos para condutores sólidos de cobre, e a Tabela 3, na qual constam dados de resistência máxima para condutores flexíveis de cobre utilizados em condutores isolados, como base para novo cálculo de perdas.

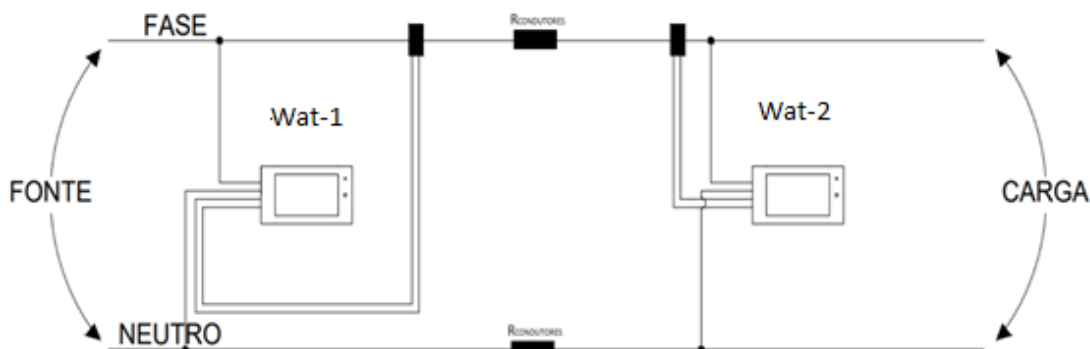
Vale destacar, que um condutor sólido, ou seja, de apenas um fio por condutor, tem uma resistência menor se comparado com o condutor de mesma seção transversal, fabricado a partir de vários fios menores, denominado condutor flexível, como consta nas Tabelas 1 e 3 da NBR NM 280 (em anexo). Para condutores de 2,5 mm<sup>2</sup>, a tabela indica o valor máximo de 7,56 Ω/km para condutores rígidos e 8,21 Ω/km para condutores flexíveis.

Devido ao fato dos condutores de seção 2,5mm<sup>2</sup> serem predominantes nos circuitos verificados e estão sujeitos a maiores variações de uso ao longo do tempo por serem circuitos de tomadas de uso geral, foram os que apresentaram muitas inconformidades de instalação segundo a norma NBR 5410. Note-se que em instalações residenciais, são usuais condutores de 1,5 mm<sup>2</sup> para circuitos de iluminação, condutores de 2,5mm<sup>2</sup> para circuitos de tomadas de uso geral e condutores de maior bitola para tomadas de uso específico como torneiras e chuveiros elétricos. Nas avaliações realizadas neste trabalho, tanto os circuitos de iluminação, por terem em geral uma pequena potência instalada, não foram encontradas não conformidades nas medições efetuadas. A análise considera

inicialmente os condutores de 2,5mm<sup>2</sup> e em seguida os de maior seção transversal.

Quanto ao método de instalação, foi feito um arranjo elétrico a fim de que a diferença de medição dos wattímetros correspondesse à potência dissipada nos condutores, observado no circuito genérico de ligação na Figura 1 e considerando que o consumo próprio dos wattímetros utilizados é pequeno (da ordem de 10 mA, o que representa menos de 0,07% da menor corrente medida), de modo que pode ser ignorado na comparação.

*Figura 1 - Modelo de medição montada*



Fonte: Autoria própria

Deste modo, o wattímetro mais próximo à fonte (Wat-1), indica os dados de consumo da carga, do wattímetro 2 (Wat 2), dos condutores e seu próprio consumo, ou seja

$$P_{\text{medidaW1}} = P_{\text{Carga}} + P_{\text{consumidaW2}} + P_{\text{Condutores}}$$

Já o wattímetro 2 coletará informações de potência consumida pela carga e por si próprio, de forma que

$$P_{\text{medidaW2}} = P_{\text{Carga}} + P_{\text{consumidaW2}}$$

Desta maneira, teremos que a diferença do wattímetro mais próximo à fonte com o wattímetro mais próximo a carga será a potência dissipada nos condutores, ou seja

$$\begin{aligned} &P_{\text{medidaW1}} - P_{\text{medidaW2}} = \\ &= (P_{\text{Carga}} + P_{\text{Condutores}} + P_{\text{consumidaW2}}) - (P_{\text{Carga}} + P_{\text{consumidaW2}}) = P_{\text{Condutores}} \end{aligned}$$

Tendo isto em vista, foram inicialmente analisados os dados obtidos dos circuitos com condutores sólidos de seção nominal de  $2,5\text{mm}^2$ , os quais, além de mais numerosos, foram os que apresentaram não conformidades. Temos que ter em mente também como referência as tabelas 1 e 3 da NBR NM 280 (em anexo), as quais dizem respeito aos valores toleráveis de resistência do cabo seja ele sólido ou flexível (tabela 1 e 3 respectivamente) no qual para os cabos de  $2,5\text{mm}^2$  de seção nominal temos como valores de resistência tolerável  $7,56 \Omega/\text{km}$  para condutores sólidos e  $8,21 \Omega/\text{km}$  para condutores flexíveis

### 4.3 Organização e análise de dados

A partir das considerações anteriores foi elaborada a tabela 1, que mostra os resultados medidos e calculados, incluindo somente circuitos com condutores  $2,5\text{mm}^2$ .

A Tabela 1 apresenta os seguintes dados, seguindo a sequência de colunas:

- 1 – Número sequencial do circuito medido, para fins de referência;
- 2 – Comp – comprimento do condutor em metros;
- 3 – Tensão medida em V;
- 4 – Corrente medida em A;
- 5 – Corrente de referência do condutor em questão, obtida da tabela 36 da NBR 5410;
- 6 – Corrente de sobrecarga, obtida da diferença entre a corrente de referência e a corrente medida. Valores positivos indicam uma situação de sobrecarga;
- 7 – Consumo indicado pelo wattímetro no lado da fonte em W;
- 8 – Consumo indicado pelo wattímetro no lado da carga em W;
- 9 – Consumo efetivo nos condutores, representando uma perda de carga nos mesmos, obtido pela diferença entre as potências medidas pelos wattímetros, em W;
- 10 – Consumo de energia nos condutores, em W por metro, calculado pela divisão do consumo efetivo nos condutores pelo seu comprimento;

11 – Resistência calculada do condutor, obtida pela aplicação da lei de Ohm, transformada em resistência por km, para comparação com dados de tabelas da NBR NM 280.

A corrente de referência apresentada na tabela considera circuito único em cada eletroduto, com 3 condutores carregados com temperatura ambiente de 30°C, podendo ser considerado um caso favorável, ou seja, a indicação de sobrecarga nesta situação implica em sobrecargas maiores quando tiver mais de um circuito nos eletrodutos. Considere-se que a análise considera os valores de potência nos condutores para os cálculos, de onde a apresentação da corrente de referência é somente uma indicação de possível sobrecarga, não incluída diretamente nos cálculos.

*Tabela 1 - Perdas Condutores de Bitola 2,5 mm<sup>2</sup>*

n°	Comp. [m]	Tensão Fonte [V]	I [A]	IRef* [A]	Corrente em sobrecarga [A]	Consumo Fonte [W]	Consumo Carga [W]	Consumo Condutores [W]	Consumo [W/m]	Res. Cond [Ω/Km]
A1	2,6	121	22,3	21	1,3	2670,00	2642,50	27,50	5,29	10,63
A2	3,4	116	31,6	21	10,6	3691,25	3621,25	70,00	10,29	10,31
A3	3,4	118	32,3	21	11,3	3813,75	3743,75	70,00	10,29	9,87
A4	3,4	119	32,6	21	11,6	3898,75	3825,00	73,75	10,85	10,21
A5	5,6	123	30,8	21	9,8	3753,75	3656,25	97,50	8,71	9,18
A6	5,6	120	39,5	21	18,5	4752,50	4586,25	166,25	14,84	9,51
A7	5,6	118	44,9	21	23,9	5302,50	5092,50	210,00	18,75	9,30
A8	5,5	122	19,9	21	-1,1	2420,00	2378,75	41,25	3,75	9,47
A9	5,5	120	27,8	21	6,8	3331,25	3252,50	78,75	7,16	9,26
A10	5,5	118	33,0	21	12,0	3887,50	3778,75	108,75	9,89	9,08
A11	5,4	124	20,1	21	-0,9	2480,00	2440,00	40,00	3,70	9,17
A12	5,4	119	33,3	21	12,3	3976,25	3861,25	115,00	10,65	9,60
A13	5,4	119	38,9	21	17,9	4601,25	4445,00	156,25	14,47	9,56
A14	5,4	118	32,0	21	11,0	3778,75	3671,25	107,50	9,95	9,72
A15	5,8	119	32,1	21	11,1	3800,00	3690,00	110,00	9,48	9,20
A16	5,7	122	22,2	21	1,2	2720,00	2666,25	53,75	4,71	9,57
A17	5,7	119	42,5	21	21,5	5053,75	4852,50	201,25	17,65	9,77
A18	5,5	121	29,2	21	8,2	3538,75	3448,75	90,00	8,18	9,60
A19	5,5	120	33,7	21	12,7	4080,00	3956,25	123,75	11,25	9,91
A20	5,5	119	39,0	21	18,0	4643,75	4486,25	157,50	14,32	9,41
A21	5,5	122	28,1	21	7,1	3420,00	3327,50	92,50	8,41	10,65
A22	5,5	120	33,4	21	12,4	3990,00	3863,75	126,25	11,48	10,29
A23	5,5	118	41,9	21	20,9	4930,00	4737,50	192,50	17,50	9,97
A24	5,5	118	50,9	21	29,9	5987,50	5701,25	286,25	26,02	10,04
A25	5,5	121	20,6	21	-0,4	2500,00	2452,50	47,50	4,32	10,18
A26	5,5	119	28,4	21	7,4	3370,00	3282,50	87,50	7,95	9,86
A27	5,5	117	33,7	21	12,7	3928,75	3807,50	121,25	11,02	9,71
A28	5,5	123	14,8	21	-6,2	1808,75	1780,00	28,75	2,61	11,93
A29	5,5	121	20,4	21	-0,6	2460,00	2410,00	50,00	4,55	10,92
A30	5,5	119	28,4	21	7,4	3360,00	3260,00	100,00	9,09	11,27
A31	2,3	119	19,7	21	-1,3	2330,00	2308,75	21,25	4,62	11,90
A32	2,3	115	28,3	21	7,3	3256,25	3215,00	41,25	8,97	11,20
A33	2,3	114	32,7	21	11,7	3732,50	3682,50	50,00	10,87	10,17

Fonte: Autoria própria

Obs: Iref\* considerando um único circuito nos eletrodutos com 3 condutores carregados.

Para fins comparativos, realizou-se também a troca de um dos circuitos, neste caso, do circuito n° A1, que apresentava sinais visíveis de oxidação. Realizada a adequação do cabeamento, foi realizada nova medição, com os valores conforme a Tabela 2, que repete a estrutura de colunas descrita na tabela anterior.

*Tabela 2 - Perdas Condutores de Bitola 2,5 mm<sup>2</sup> de acordo com a Norma*

n°	Comp. [m]	Tensão Fonte [V]	I [A]	IRef* [A]	Corrente em sobrecarga [A]	Consumo Fonte [W]	Consumo Carga [W]	Consumo Condutores [W]	Consumo [W/m]	Res. Cond [Ω/Km]
1	2,6	118	21,7	21	0,7	2580,00	2562,50	17,50	3,37	7,15

Fonte: Autoria própria

Obs, Iref\* considerando um único circuito nos eletrodutos com 3 condutores carregados.

Ao analisar a troca deste circuito, observou-se que seu valor de resistência de condutor estava abaixo do especificado pela Tabela 3 da NBR NM 280 para condutores flexíveis, onde o máximo aceitável pela norma é de 7,56 Ω/km para condutor rígido. Ou seja, como a norma fixa o máximo aceitável, utilizou-se os valores recomendados pela mesma, sendo que com estes valores têm-se as maiores perdas permitidas, constituindo um dado coerente e válido para a comparação em questão.

Diante dos dados apresentados na Tabela 1, é possível perceber que os valores de resistência com o qual os condutores estão operando estão acima do tolerável pela NBR NM 280, fazendo com que as perdas nos condutores sejam mais elevadas do que o limite estabelecido na norma, quer sejam condutores rígidos ou flexíveis.

Note-se que a situação da operação em regime de sobrecarga não constitui, por si mesma, uma não conformidade, pois a NBR 5410 expressamente permite esse regime, desde que limitado em termos de duração da condição de sobrecarga e respeitando a temperatura limite para o tipo de condutor. Como este estudo não inclui a consideração do tempo de uso no regime de sobrecarga, o que implicaria em monitoramento de temperatura efetiva do condutor ao longo da vida útil do mesmo, essa questão não foi considerada na análise. Dessa maneira, a consideração do valor limite indicados

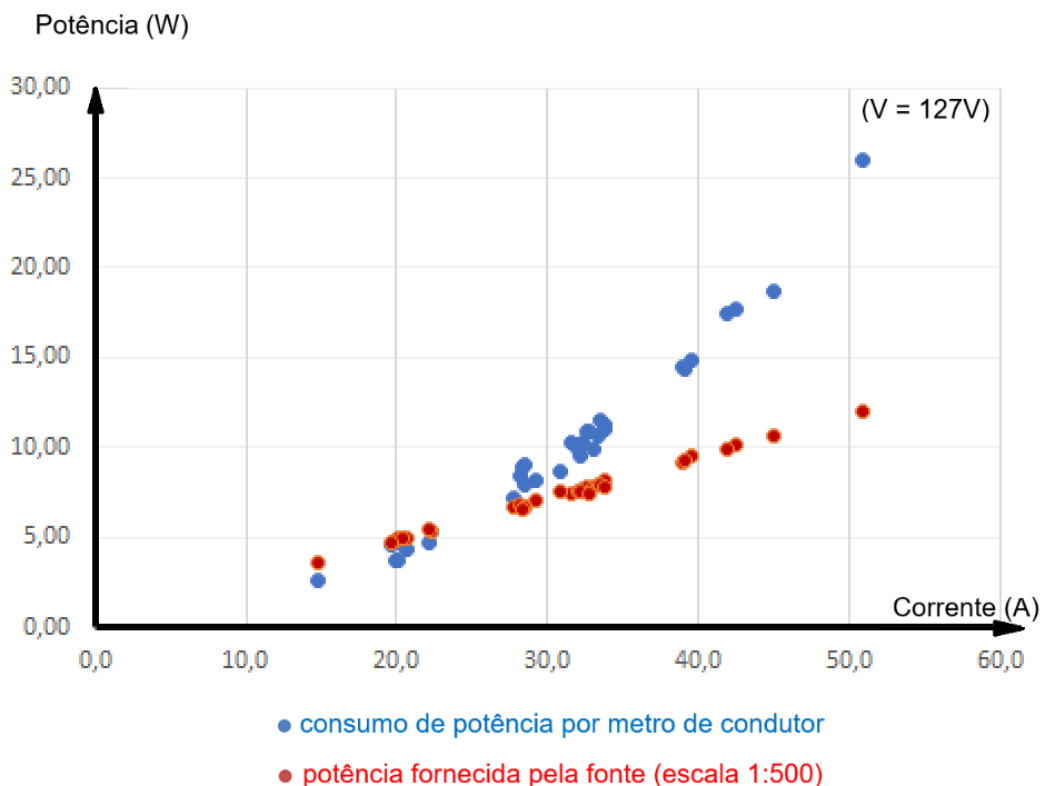
pela NBR NM 280 define as condições de análise para comparação com os dados obtidos por ocasião da medição.

Para cálculo da potência consumida pelo condutor, as únicas variáveis que entram nesta equação são a corrente que flui neste condutor, a resistência do mesmo, a distância que a corrente percorre, com a consideração de que essa potência consumida pelos cabos pode ser considerada uniforme em toda a sua extensão. Correlacionando com a lei de Ohm para as potências a relação a ser feita é através do valor da resistência interna e da corrente que flui através do condutor e ajustar para uma unidade de medida adequada, para poder ter a perda por metro do condutor em função da corrente.

Para uma visualização gráfica destes elementos foi elaborado um gráfico, apresentado na Figura 2, que relaciona os valores da potência elétrica fornecida pela fonte com o consumo dos condutores, ou seja, as perdas de potência por metro de condutor. Para a construção do gráfico, visando uma melhor visualização, foi adotada uma escala 1:500 para os dados de potência da fonte, de modo a exibir as duas séries próximas uma da outra.



Figura 2 - Potência x corrente circuito real



Fonte: Autoria própria

O gráfico indica que a relação entre o aumento do consumo dos condutores e o aumento da potência fornecida pela fonte não é linear, o quanto mais potência a carga exige, maior será o consumo dos condutores. Isto ocorre devido ao fato das perdas serem proporcionais ao quadrado da corrente que percorre os condutores, enquanto a relação entre corrente e potência é linear segundo a lei de Ohm, para uma tensão fixa.

Para efeito de comparação, foi simulada a Tabela 3 semelhante à apresentada anteriormente, e para verificar se coincidem com o esperado teórico, aplicou-se o valor de resistência definido por norma para cabos flexíveis de 2,5mm<sup>2</sup> e foram simuladas as perdas no condutor utilizando a Lei de Ohm como base, mantendo assim, os mesmos parâmetros de tensão e corrente dos obtidos nas tabelas. As colunas iniciais são as mesmas, sendo que os dados simulados por cálculo são os valores de consumo na fonte, na carga e nos condutores.

Tabela 3 - Simulação de Perdas nos Condutores de Bitola 2,5 mm

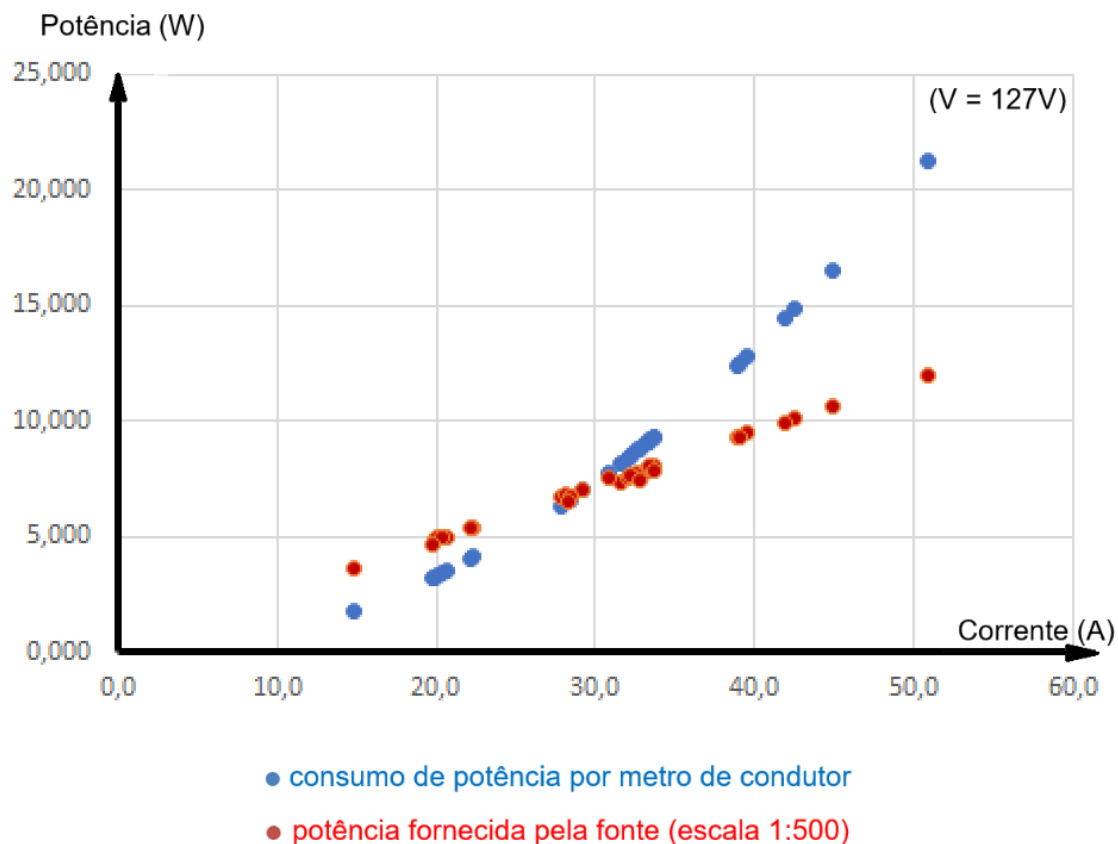
n°	Comp. [m]	Tensão Fonte [V]	I [A]	IRef* [A]	Corrente em sobrecarga [A]	Consumo Fonte [W]	Consumo Carga [W]	Consumo Condutores [W]	Consumo [W/m]	Res. Cond [Ω/Km]	Bitola simulada [mm²]
B1	2,6	121	22,3	21	1,3	2698,30	2677,07	21,23	4,083	8,21	2,5
B2	3,4	116	31,6	21	10,6	3665,60	3609,85	55,75	8,198	8,21	2,5
B3	3,4	118	32,3	21	11,3	3811,40	3753,16	58,24	8,565	8,21	2,5
B4	3,4	119	32,6	21	11,6	3879,40	3820,07	59,33	8,725	8,21	2,5
B5	5,6	123	30,8	21	9,8	3788,40	3701,17	87,23	7,788	8,21	2,5
B6	5,6	120	39,5	21	18,5	4740,00	4596,53	143,47	12,810	8,21	2,5
B7	5,6	118	44,9	21	23,9	5298,20	5112,82	185,38	16,551	8,21	2,5
B8	5,5	122	19,9	21	-1,1	2427,80	2392,04	35,76	3,251	8,21	2,5
B9	5,5	120	27,8	21	6,8	3336,00	3266,20	69,80	6,345	8,21	2,5
B10	5,5	118	33,0	21	12,0	3894,00	3795,65	98,35	8,941	8,21	2,5
B11	5,4	124	20,1	21	-0,9	2492,40	2456,58	35,82	3,317	8,21	2,5
B12	5,4	119	33,3	21	12,3	3962,70	3864,38	98,32	9,104	8,21	2,5
B13	5,4	119	38,9	21	17,9	4629,10	4494,93	134,17	12,423	8,21	2,5
B14	5,4	118	32,0	21	11,0	3776,00	3685,20	90,80	8,407	8,21	2,5
B15	5,8	119	32,1	21	11,1	3819,90	3721,77	98,13	8,460	8,21	2,5
B16	5,7	122	22,2	21	1,2	2708,40	2662,27	46,13	4,046	8,21	2,5
B17	5,7	119	42,5	21	21,5	5057,50	4888,45	169,05	14,829	8,21	2,5
B18	5,5	121	29,2	21	8,2	3533,20	3456,20	77,00	7,000	8,21	2,5
B19	5,5	120	33,7	21	12,7	4044,00	3941,44	102,56	9,324	8,21	2,5
B20	5,5	119	39,0	21	18,0	4641,00	4503,64	137,36	12,487	8,21	2,5
B21	5,5	122	28,1	21	7,1	3428,20	3356,89	71,31	6,483	8,21	2,5
B22	5,5	120	33,4	21	12,4	4008,00	3907,25	100,75	9,159	8,21	2,5
B23	5,5	118	41,9	21	20,9	4944,20	4785,65	158,55	14,414	8,21	2,5
B24	5,5	118	50,9	21	29,9	6006,20	5772,22	233,98	21,271	8,21	2,5
B25	5,5	121	20,6	21	-0,4	2492,60	2454,28	38,32	3,484	8,21	2,5
B26	5,5	119	28,4	21	7,4	3379,60	3306,76	72,84	6,622	8,21	2,5
B27	5,5	117	33,7	21	12,7	3942,90	3840,34	102,56	9,324	8,21	2,5
B28	5,5	123	14,8	21	-6,2	1820,40	1800,62	19,78	1,798	8,21	2,5
B29	5,5	121	20,4	21	-0,6	2468,40	2430,82	37,58	3,417	8,21	2,5
B30	5,5	119	28,4	21	7,4	3379,60	3306,76	72,84	6,622	8,21	2,5
B31	2,3	119	19,7	21	-1,3	2344,30	2329,64	14,66	3,186	8,21	2,5
B32	2,3	115	28,3	21	7,3	3254,50	3224,25	30,25	6,575	8,21	2,5
B33	2,3	114	32,7	21	11,7	3727,80	3687,42	40,38	8,779	8,21	2,5

Fonte: Autoria própria

Obs, Iref\* considerando um único circuito nos eletrodutos com 3 condutores carregados.

Assim como, no caso anterior, foi traçado um gráfico para relacionar a corrente do condutor com a potência nele dissipada por metro, em relação a potência fornecida pela fonte.

Figura 3 - Potência x corrente circuito simulado



Fonte: Autoria própria

Ao comparar os gráficos da Figura 3 com a Figura 2, observa-se a semelhança dos mesmos, sendo um deles gerado através da aplicação da Lei de Ohm (Figura 3), e validam-se os dados encontrados em campo com o esperado teórico (Figura 2), então pode-se inferir que os valores de perdas de potência neles medidos estão coerentes.

Tendo isto em mente, fica evidente que, quanto maior a sobrecarga no condutor, mais ele influenciará negativamente para o rendimento da instalação em que ele opera, sendo necessário sua troca para evitar um consumo desnecessário e perigoso de energia elétrica.

As tabelas 4 e 5 apresentam os dados obtidos para os condutores de bitola 4 mm<sup>2</sup> e 6 mm<sup>2</sup> respectivamente.

Tabela 4 - Perdas Condutores de Bitola 4 mm<sup>2</sup>

n°	Comp. [m]	Tensão Fonte [V]	I [A]	IRef* [A]	Corrente em sobrecarga [A]	Consumo Fonte [W]	Consumo Carga [W]	Consumo Condutores [W]	Consumo [W/m]	Res. Cond [Ω/Km]
A1	7,5	121	22,3	28	-5,7	5256,25	5147,50	108,75	7,25	14,58
A2	6,8	208	32,3	28	4,3	6591,25	6511,25	80,00	5,88	5,64
A3	5,3	113	32,6	28	4,6	4077,50	3997,50	80,00	7,55	7,10
A4	5,1	211	30,8	28	2,8	6700,00	6658,75	41,25	4,04	4,26

Fonte: Autoria própria

Obs, Iref\* considerando um único circuito nos eletrodutos com 3 condutores carregados.

Tabela 5 - Perdas Condutores de bitola 6 mm<sup>2</sup>

n°	Comp. [m]	Tensão Fonte [V]	I [A]	IRef* [A]	Corrente em sobrecarga [A]	Consumo Fonte [W]	Consumo Carga [W]	Consumo Condutores [W]	Consumo [W/m]	Res. Cond [Ω/Km]
A1	8,2	213	24,8	36	-11,2	5285,00	5253,75	31,25	1,91	3,10
A2	14	215	31,6	28	3,6	7081,25	6996,25	85,00	3,04	3,04

Fonte: Autoria própria

Obs, Iref\* considerando um único circuito no eletroduto com 3 condutores carregados.

Para os circuitos de 4mm<sup>2</sup>, os dados obtidos apresentam características similares aos de 2,54mm<sup>2</sup>. Estes cabos eram comumente utilizados para a alimentação de chuveiros, e os apartamentos e casas em geral tem dutos exclusivos para estes circuitos, e, neste caso, mesmo com cabos antigos, estes não sofreram muito com o tempo, também devido à proteção estar dentro dos parâmetros de norma. Observou-se que os circuitos com resistência mais alta, eram de um mesmo imóvel, e os condutores tinham sinais de oxidação, não apenas na parte exposta, mas inclusive nas partes internas do condutor, ainda protegidos pela isolação, uma possível indicação de ultrapassagem das condições de sobrecarga previstas na NBR 5410.

Para os condutores de seção nominal 6mm<sup>2</sup> seus valores de resistência interna que foram medidos estavam dentro dos limites máximos fixados por norma, logo, utilizar-se dos limites estabelecidos por norma nos trará um resultado confiável, assim como já dito neste trabalho.

Para realizar instalações elétricas de maneira correta, deve-se levar em conta a corrente esperada neste circuito e, para tal, dimensionar condutores adequados para suportar este fluxo de potência, pois a bitola do condutor influencia diretamente para as perdas de energia no transporte de potência da fonte até a carga, então, deve-se também, levar em consideração a seção nominal do cabo para cálculo das perdas no circuito. Para isso, foi simulada uma tabela com os mesmos parâmetros de tensão e corrente dos medidos na Tabela 1, porém levando em consideração as bitolas mínimas esperadas por norma. Vale lembrar também que como os circuitos foram medidos apenas em trechos curtos, a queda de tensão foi baixa, bem inferior ao limite de 4% para circuitos terminais, estabelecido pela NBR 5410. Como vários trechos são parte de circuitos mais longos, o cálculo do limite máximo da queda de tensão não foi incluído pois envolve a extensão total de cada circuito e demais condições de instalação.

Os valores de resistência interna dos condutores vistos na tabela a seguir são retirados da norma NBR NM 280 para condutores flexíveis, tabela 3 (p. 11 - ABNT, 2011), que são adotados. Caso fossem utilizados condutores rígidos, que tem menor resistência, as perdas seriam ainda menores que as calculadas:

- Cabos 2,5mm<sup>2</sup>: 8,21Ω/km
- Cabos 4,0mm<sup>2</sup>: 5,09Ω/km
- Cabos 6,0mm<sup>2</sup>: 3,39Ω/km
- Cabos 10,0mm<sup>2</sup>: 1,95Ω/km

Tabela 6 - Perdas nos condutores com bitola corrigida

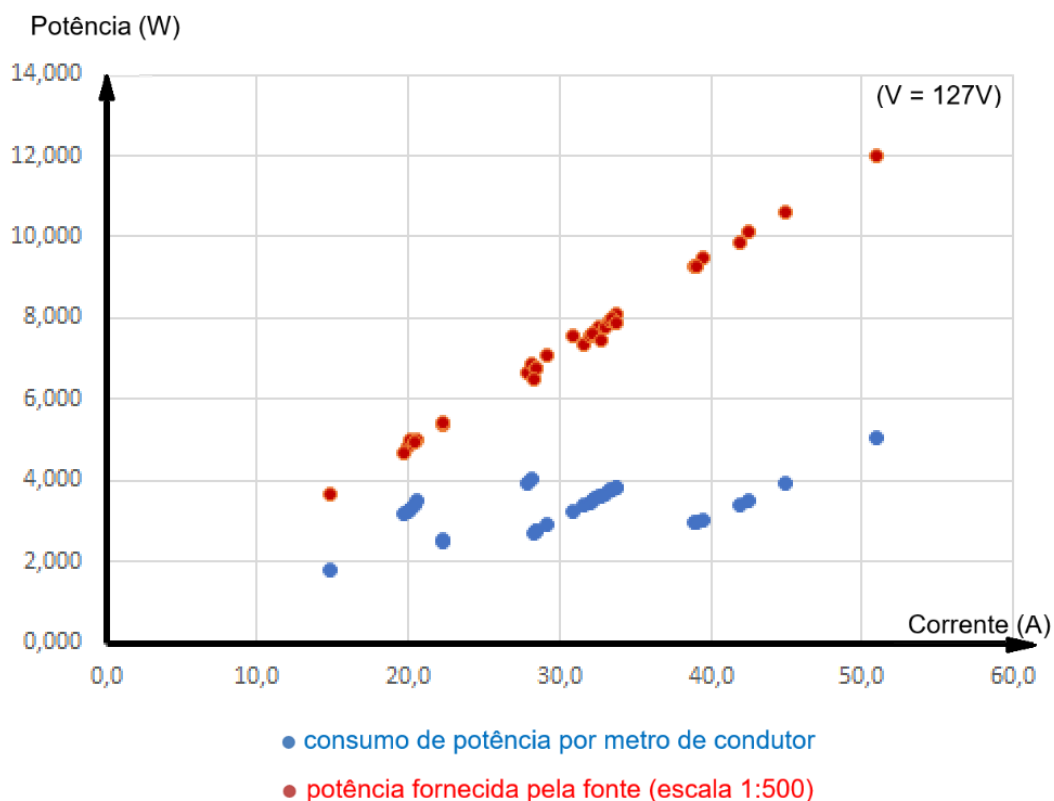
n°	Comp. [m]	Tensão Fonte [V]	I [A]	I <sub>Ref</sub> * [A]	Corrente em sobrecarga [A]	Consumo Fonte [W]	Consumo Carga [W]	Consumo Condutores [W]	Consumo [W/m]	Res. Cond [Ω/Km]	Bitola simulada [mm²]
C1	2,6	121	22,3	28	-5,7	2698,30	2685,14	13,16	2,531	5,09	4,0
C2	3,4	116	31,6	36	-4,4	3665,60	3642,58	23,02	3,385	3,39	6,0
C3	3,4	118	32,3	36	-3,7	3811,40	3787,35	24,05	3,537	3,39	6,0
C4	3,4	119	32,6	36	-3,4	3879,40	3854,90	24,50	3,603	3,39	6,0
C5	5,6	123	30,8	36	-5,2	3788,40	3752,38	36,02	3,216	3,39	6,0
C6	5,6	120	39,5	50	-10,5	4740,00	4705,92	34,08	3,042	1,95	10,0
C7	5,6	118	44,9	50	-5,1	5298,20	5254,17	44,03	3,931	1,95	10,0
C8	5,5	122	19,9	21	-1,1	2427,80	2392,04	35,76	3,251	8,21	2,5
C9	5,5	120	27,8	28	-0,2	3336,00	3292,73	43,27	3,934	5,09	4,0
C10	5,5	118	33,0	36	-3,0	3894,00	3853,39	40,61	3,692	3,39	6,0
C11	5,4	124	20,1	21	-0,9	2492,40	2456,58	35,82	3,317	8,21	2,5
C12	5,4	119	33,3	36	-2,7	3962,70	3922,10	40,60	3,759	3,39	6,0
C13	5,4	119	38,9	50	-11,1	4629,10	4597,23	31,87	2,951	1,95	10,0
C14	5,4	118	32,0	36	-4,0	3776,00	3738,51	37,49	3,471	3,39	6,0
C15	5,8	119	32,1	36	-3,9	3819,90	3779,38	40,52	3,493	3,39	6,0
C16	5,7	122	22,2	28	-5,8	2708,40	2679,80	28,60	2,509	5,09	4,0
C17	5,7	119	42,5	50	-7,5	5057,50	5017,35	40,15	3,522	1,95	10,0
C18	5,5	121	29,2	36	-6,8	3533,20	3501,41	31,79	2,890	3,39	6,0
C19	5,5	120	33,7	36	-2,3	4044,00	4001,65	42,35	3,850	3,39	6,0
C20	5,5	119	39,0	50	-11,0	4641,00	4608,37	32,63	2,966	1,95	10,0
C21	5,5	122	28,1	28	0,1	3428,20	3383,99	44,21	4,019	5,09	4,0
C22	5,5	120	33,4	36	-2,6	4008,00	3966,40	41,60	3,782	3,39	6,0
C23	5,5	118	41,9	50	-8,1	4944,20	4906,54	37,66	3,423	1,95	10,0
C24	5,5	118	50,9	50	0,9	6006,20	5950,63	55,57	5,052	1,95	10,0
C25	5,5	121	20,6	21	-0,4	2492,60	2454,28	38,32	3,484	8,21	2,5
C26	5,5	119	28,4	36	-7,6	3379,60	3349,52	30,08	2,734	3,39	6,0
C27	5,5	117	33,7	36	-2,3	3942,90	3900,55	42,35	3,850	3,39	6,0
C28	5,5	123	14,8	21	-6,2	1820,40	1800,62	19,78	1,798	8,21	2,5
C29	5,5	121	20,4	21	-0,6	2468,40	2430,82	37,58	3,417	8,21	2,5
C30	5,5	119	28,4	36	-7,6	3379,60	3349,52	30,08	2,734	3,39	6,0
C31	2,3	119	19,7	21	-1,3	2344,30	2329,64	14,66	3,186	8,21	2,5
C32	2,3	115	28,3	36	-7,7	3254,50	3242,01	12,49	2,715	3,39	6,0
C33	2,3	114	32,7	36	-3,3	3727,80	3711,13	16,67	3,625	3,39	6,0

Fonte: Autoria própria

Obs, I<sub>ref</sub>\* considerando um único circuito nos eletrodutos com 3 condutores carregados.

Dessa forma, pode-se traçar um gráfico relacionando a potência dissipada por metro do condutor e potência da fonte, em relação ao cabo instalado e suas perdas.

Figura 4 - Potência x corrente estabelecido por Norma



Fonte: Autoria própria

Pode ser comparado agora estes dados simulados com os obtidos em campo, e observa-se uma discrepância significativa de consumo entre os cabos que operam dentro das especificações da norma NBR NM 280 (ABNT, 2011) em relação aos condutores que estão operando fora dos padrões.

Tendo em vista as correntes de corte de cada condutor segundo a tabela 36 da NBR 5410, para circuito único no eletroduto, com 3 condutores carregados, as quais são 21A para condutores de seção nominal  $2,5\text{mm}^2$ , 28A para condutores com seção nominal de  $4,0\text{mm}^2$ , 36A para condutores  $6\text{mm}^2$  e 50A para condutores de seção  $10\text{mm}^2$ , os valores máximos de consumo por metro de condutor estão mostrados no gráfico da Figura 4, sendo que o valor limite um consumo fica sempre abaixo de  $5\text{W/m}$  quando opera nas condições acima, independente da bitola do condutor .

#### 4.4 Planilha de verificação de circuitos segundo a norma

Para o caso dos circuitos medidos no local, é notado que até o limite da corrente nominal segundo a norma, 21A, este limite de consumo de 5W/m de condutor foi mantido, como pode ser visto no gráfico da Figura 2, porém, quando se ultrapassa o valor da corrente nominal este consumo por metro entra em um crescimento exponencial.

Para consumo dentro dos padrões limites de norma e das situações consideradas neste estudo, com correntes variando entre 0 e 21A em condutores de seção nominal de 2,5mm<sup>2</sup>, o consumo dos condutores variou entre 0 até 5 W/m, ao aumentar esta corrente, variando entre 21 e 50A, a potência dissipada por metro de condutor varia de 5 até 26W por metro de cabo, um número que chega a cinco vezes o limite de norma.

Logo, tendo o valor médio de resistência de cabos antigos de seção nominal 2,5mm<sup>2</sup>, valores de potência e tensão do equipamento a ser instalado e usando como base os valores de resistência contidos na tabela 3 da NBR NM 280, é possível realizar a elaboração de uma visualização relacionando estes parâmetros e comparar o circuito atual instalado com os parâmetros mínimos exigidos por norma, permitindo assim um cálculo completo de potência dissipada na carga e nos condutores.

Para realizar as alterações a fim de se adequar à norma, deve ser levado em consideração algumas variáveis estabelecidas pela NBR 5410, que são corrente máxima dos condutores e queda de tensão neste circuito, estes elementos estão diretamente relacionados com o comprimento  $d$  o mesmo e a quantidade de condutores carregados no mesmo eletroduto, que para fins de cálculo, serão levados em considerações o valor a situação mais crítica de circuito único no eletroduto com 3 condutores carregados percorrendo o mesmo trajeto junto ao circuito a ser corrigido. Também se considera uma situação com temperatura ambiente de 30°C, dispensado dessa forma o fator de correção de temperatura.

Foi elaborada uma tabela em planilha eletrônica a qual leva todas essas considerações mencionadas anteriormente, e assim após fornecer alguns dados, os valores são calculados automaticamente. A versão apresentada a



seguir é uma proposta inicial, com previsão de continuidade de desenvolvimento, com implementação de outras situações. Essa tabela deve ser alimentada pelo usuário em relação às seguintes informações:

1. Tensão do circuito em V;
2. Corrente que fluirá pelo condutor em A (a corrente de corte do disjuntor) ou a potência que a fonte deverá fornecer para o circuito em W (o cálculo pode ser realizado com qualquer uma das entradas);
3. Valor atualizado do KWh, informado pela concessionária, em reais (R\$);
4. Preços dos condutores, por metro, de cabos 2,5mm<sup>2</sup>, 4mm<sup>2</sup>, 6mm<sup>2</sup> e 10mm<sup>2</sup>, em reais (R\$);
5. Comprimento do circuito até a carga, em metros;
6. Tempo, em horas, que o circuito opera durante o dia;
7. Limite de queda de tensão aceitável pela norma;
8. Valor da mão de obra, orçado pelo usuário da Tabela Dinâmica.

Para a utilização da tabela, o primeiro passo é calcular se os condutores que estão fora de norma operam ainda dentro dos limites estabelecidos, levando em consideração a corrente máxima aceita pela norma, uma perda máxima aceitável de 5W/m no condutor, conforme visto anteriormente que é o valor máximo esperado para os cabos normatizados pela NBR NM 280 (ABNT, 2011) e a queda de tensão máxima, em percentagem. Esse valor pode ser editado na tabela, porém será atribuído um valor máximo de 4%, conforme NBR 5410 para circuitos terminais (item 6.2.7.2 – ABNT, 2005). Caso esses valores estejam dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma, não será indicado nenhuma alteração, como pode ser verificado na Figura 5.


Figura 5 - Circuito com parâmetros dentro de norma

Favor informar		Circuito Atual	Circuito Corrigido	
Tensão da Rede [V]	127		Potência Fonte [W]	2540,00
Potência [W] <b>OU</b>			Potência Carga [W]	2460,64
Corrente do Disjuntor [A]	20		Potência Condutores [W]	79,36
Percurso do circuito [m]	10		Perda por metro [W]	3,97
		Circuito de acordo com a norma		

Descrição	Custo (R\$)	Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	R\$ -	
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70		
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80		
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80		
kWh	R\$ 0,83		
HORAS		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal) R\$ 17,82	
Tempo de utilização diário [h]	9	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal) R\$ 17,82	
Limite de queda de tensão (%)	4	economia R\$ -	
Custo de mão de obra	R\$ 100,00	Tempo de Retorno (meses) : 0,0	


  



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Gerência de Ensino e Pesquisa  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT  
Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e, de Tecnologia em Automação Industrial

Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva  
Henrique José de Mendonça Karpem  
Juarez Silveira da Rosa

Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Fonte: Autoria própria

Caso esta tabela encontre atributos que não obedecem à norma, irá sugerir uma alteração, como pode ser observado nas Figuras 5, 6, 7 e 8, e irá calcular automaticamente os parâmetros e informará o condutor que atende às exigências estabelecidas pela norma.


Figura 6 - Tabela corrigindo o circuito devido à queda de tensão

Favor informar		Circuito Atual	Circuito Corrigido		Circuito Corrigido	
Tensão da Rede [V]	127		Potência Fonte [W]	2540,00	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	2,5
Potência [W] <b>OU</b>			Potência Carga [W]	2420,96	Potência Fonte [W]	2540,00
Corrente do Disjuntor [A]	20		Potência Condutores [W]	119,04	Potência Carga [W]	2441,48
Percurso do circuito [m]	15		Perda por metro [W]	3,97	Potência Condutores [W]	98,52
		Queda de tensão acima do limite estabelecido		Perda por metro [W]	3,28	
				Limite de queda de tensão	OK	

Descrição	Custo (R\$)	Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	R\$ 169,00	
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70		
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80		
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80		
kWh	R\$ 0,83		
HORAS		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal) R\$ 26,73	
Tempo de utilização diário [h]	9	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal) R\$ 22,12	
Limite de queda de tensão (%)	4	economia R\$ 4,61	
Custo de mão de obra	R\$ 100,00	Tempo de Retorno (meses) : 36,7	


  



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Gerência de Ensino e Pesquisa  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT  
Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e, de Tecnologia em Automação Industrial

Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva  
Henrique José de Mendonça Karpem  
Juarez Silveira da Rosa



Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ



Fonte: Autoria própria

Figura 7 - Tabela corrigindo o circuito devido a corrente acima da estabelecida pela norma

Favor Informar		Circuito Atual	Potência Fonte [W]	3500,00	Circuito Corrigido	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	4																												
Tensão da Rede [V]	127		Potência Carga [W]	3273,97		Potência Fonte [W]	3500,00																												
Potência [W] <b>OU</b>	3500		Potência Condutores [W]	226,03		Potência Carga [W]	3384,02																												
Corrente do Disjuntor [A]			Perda por metro [W]	7,53		Potência Condutores [W]	115,98																												
Percurso do circuito [m]	15		Corrente acima do limite do condutor			Perda por metro [W]	3,87																												
				Limite de queda de tensão	OK																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Custo (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>metro cabo 2,5mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 2,30</td></tr> <tr><td>metro cabo 4mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 3,70</td></tr> <tr><td>metro cabo 6mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 5,80</td></tr> <tr><td>metro cabo 10mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 9,80</td></tr> <tr><td>kWh</td><td>R\$ 0,83</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">HORAS</td></tr> <tr><td>Tempo de utilização diário [h]</td><td>9</td></tr> <tr><td>Limite de queda de tensão (%)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Custo de mão de obra</td><td>R\$ 100,00</td></tr> </tbody> </table>		Descrição	Custo (R\$)	metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70	metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80	metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80	kWh	R\$ 0,83	HORAS		Tempo de utilização diário [h]	9	Limite de queda de tensão (%)	4	Custo de mão de obra	R\$ 100,00	<table border="1"> <tr><td>Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)</td><td>R\$ 211,00</td></tr> </table>		Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 211,00	<table border="1"> <tr><td>Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)</td><td>R\$ 50,75</td></tr> <tr><td>Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)</td><td>R\$ 26,04</td></tr> <tr><td>economia</td><td>R\$ 24,71</td></tr> <tr><td>Tempo de Retorno (meses) :</td><td>8,5</td></tr> </table>		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 50,75	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 26,04	economia	R\$ 24,71	Tempo de Retorno (meses) :	8,5
Descrição	Custo (R\$)																																		
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30																																		
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70																																		
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80																																		
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80																																		
kWh	R\$ 0,83																																		
HORAS																																			
Tempo de utilização diário [h]	9																																		
Limite de queda de tensão (%)	4																																		
Custo de mão de obra	R\$ 100,00																																		
Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 211,00																																		
Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 50,75																																		
Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 26,04																																		
economia	R\$ 24,71																																		
Tempo de Retorno (meses) :	8,5																																		
 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Gerência de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e de Tecnologia em Automação Industrial</p> <p>Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p>		 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>		<p><small>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</small></p>																															

Fonte: Autoria própria

Figura 8 - Tabela corrigindo o circuito devido a potência dissipada nos condutores acima de 5W/m



Favor Informar		Circuito Atual	Potência Fonte [W]	2921,00	Circuito Corrigido	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	4																												
Tensão da Rede [V]	127		Potência Carga [W]	2816,05		Potência Fonte [W]	2921,00																												
Potência [W] <b>OU</b>			Potência Condutores [W]	104,95		Potência Carga [W]	2867,15																												
Corrente do Disjuntor [A]	23		Perda por metro [W]	5,25		Potência Condutores [W]	53,85																												
Percurso do circuito [m]	10		Potência consumida no condutor acima do limite			Perda por metro [W]	2,69																												
				Limite de queda de tensão	OK																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Custo (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>metro cabo 2,5mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 2,30</td></tr> <tr><td>metro cabo 4mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 3,70</td></tr> <tr><td>metro cabo 6mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 5,80</td></tr> <tr><td>metro cabo 10mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 9,80</td></tr> <tr><td>kWh</td><td>R\$ 0,83</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">HORAS</td></tr> <tr><td>Tempo de utilização diário [h]</td><td>9</td></tr> <tr><td>Limite de queda de tensão (%)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Custo de mão de obra</td><td>R\$ 100,00</td></tr> </tbody> </table>		Descrição	Custo (R\$)	metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70	metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80	metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80	kWh	R\$ 0,83	HORAS		Tempo de utilização diário [h]	9	Limite de queda de tensão (%)	4	Custo de mão de obra	R\$ 100,00	<table border="1"> <tr><td>Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)</td><td>R\$ 174,00</td></tr> </table>		Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 174,00	<table border="1"> <tr><td>Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)</td><td>R\$ 23,56</td></tr> <tr><td>Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)</td><td>R\$ 12,09</td></tr> <tr><td>economia</td><td>R\$ 11,47</td></tr> <tr><td>Tempo de Retorno (meses) :</td><td>15,2</td></tr> </table>		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 23,56	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 12,09	economia	R\$ 11,47	Tempo de Retorno (meses) :	15,2
Descrição	Custo (R\$)																																		
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30																																		
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70																																		
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80																																		
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80																																		
kWh	R\$ 0,83																																		
HORAS																																			
Tempo de utilização diário [h]	9																																		
Limite de queda de tensão (%)	4																																		
Custo de mão de obra	R\$ 100,00																																		
Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 174,00																																		
Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 23,56																																		
Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 12,09																																		
economia	R\$ 11,47																																		
Tempo de Retorno (meses) :	15,2																																		
 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Gerência de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e de Tecnologia em Automação Industrial</p> <p>Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p>		 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>		<p><small>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</small></p>																															

Fonte: Autoria própria

Para indicar um condutor substituto, os mesmos parâmetros devem ser atendidos, a partir da queda de tensão e limite de corrente dos condutores. O limite de corrente é feito automaticamente pela tabela, como pode ser observado na Figura 7. A tabela, ao identificar uma corrente acima da estabelecida pela norma NBR 5410, indica diretamente o condutor que permita esse fluxo de



corrente, como pode ser verificado ao comparar a Figura 6, na qual para estes níveis de corrente ou potência ela indicou o cabo 2,5mm<sup>2</sup> e para uma potência maior do que a suportada pelos condutores, a tabela diretamente indicou o condutor 4mm<sup>2</sup>. Além do limite de corrente, faz-se necessário calcular a queda de tensão no circuito com estes condutores instalados, para isso, após escolher o condutor segundo a bitola, fará um teste de queda de tensão, e o resultado deste teste pode ser visto no campo “limite de queda de tensão” que carregará as informações “OK” para quando o condutor atender os limites especificados pela norma e “NOK” (Not-OK) quando os condutores não atenderem aos requisitos. Caso isso ocorra, a tabela fará novamente um novo teste de queda de tensão, agora para um condutor de bitola nominal maior. A tabela realizará o teste para condutores de bitolas 2,5mm<sup>2</sup>, 4mm<sup>2</sup>, 6mm<sup>2</sup> e 10mm<sup>2</sup>. Caso a queda de tensão ou corrente não seja suportada por estes cabos, a tabela informará que ela não será capaz de fornecer dados coerentes, como pode ser conferido nas Figuras 9, 10, 11 e 12.

*Figura 9 - Circuito identificando queda de tensão fora dos limites nos condutores corrigidos, já com a indicação de um maior*

Favor informar		Circuito Atual	Potência Fonte [W]	2921,00	Circuito Corrigido	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	4																																				
Tensão da Rede [V]	127		Potência Carga [W]	2658,62		Potência Fonte [W]	2921,00																																				
Potência [W] OU			Potência Condutores [W]	262,38		Potência Carga [W]	2786,37																																				
Corrente do Disjuntor [A]	23		Perda por metro [W]	5,25		Potência Condutores [W]	134,63																																				
Percurso do circuito [m]	25		Queda de tensão acima do limite estabelecido			Perda por metro [W]	2,69																																				
				Limite de queda de tensão	NOK																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Custo (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>metro cabo 2,5mm<sup>2</sup></td> <td>R\$ 2,30</td> </tr> <tr> <td>metro cabo 4mm<sup>2</sup></td> <td>R\$ 3,70</td> </tr> <tr> <td>metro cabo 6mm<sup>2</sup></td> <td>R\$ 5,80</td> </tr> <tr> <td>metro cabo 10mm<sup>2</sup></td> <td>R\$ 9,80</td> </tr> <tr> <td>kWh</td> <td>R\$ 0,83</td> </tr> <tr> <td colspan="2">HORAS</td> </tr> <tr> <td>Tempo de utilização diário [h]</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Limite de queda de tensão (%)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Custo de mão de obra</td> <td>R\$ 100,00</td> </tr> </tbody> </table>		Descrição	Custo (R\$)	metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70	metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80	metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80	kWh	R\$ 0,83	HORAS		Tempo de utilização diário [h]	9	Limite de queda de tensão (%)	4	Custo de mão de obra	R\$ 100,00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)</th> <th>R\$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>390,00</td> </tr> </tbody> </table>		Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$		390,00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bitola requerida [mm<sup>2</sup>]</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Potência Fonte [W]</td> <td>2921,00</td> </tr> <tr> <td>Potência Carga [W]</td> <td>2831,33</td> </tr> <tr> <td>Potência Condutores [W]</td> <td>89,67</td> </tr> <tr> <td>Perda por metro [W]</td> <td>1,79</td> </tr> <tr> <td>Limite de queda de tensão</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table>		Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]		6		Potência Fonte [W]	2921,00	Potência Carga [W]	2831,33	Potência Condutores [W]	89,67	Perda por metro [W]	1,79	Limite de queda de tensão	OK
Descrição	Custo (R\$)																																										
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30																																										
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70																																										
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80																																										
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80																																										
kWh	R\$ 0,83																																										
HORAS																																											
Tempo de utilização diário [h]	9																																										
Limite de queda de tensão (%)	4																																										
Custo de mão de obra	R\$ 100,00																																										
Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$																																										
	390,00																																										
Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]																																											
6																																											
Potência Fonte [W]	2921,00																																										
Potência Carga [W]	2831,33																																										
Potência Condutores [W]	89,67																																										
Perda por metro [W]	1,79																																										
Limite de queda de tensão	OK																																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)</th> <th>R\$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>58,91</td> </tr> <tr> <th>Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)</th> <th>R\$</th> </tr> <tr> <td></td> <td>20,13</td> </tr> <tr> <td>economia</td> <td>R\$ 38,78</td> </tr> </tbody> </table>		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$		58,91	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$		20,13	economia	R\$ 38,78																														
Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$																																										
	58,91																																										
Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$																																										
	20,13																																										
economia	R\$ 38,78																																										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo de Retorno (meses) :</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>10,1</td> </tr> </tbody> </table>		Tempo de Retorno (meses) :			10,1																																				
Tempo de Retorno (meses) :																																											
	10,1																																										
 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Gerência de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e, de Tecnologia em Automação Industrial</p> <p>Tabela desenvolvida por: Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p>		 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>		<p>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</p>																																							



Fonte: Autoria própria

Figura 10 - Circuito identificando queda de tensão fora dos limites nos condutores corrigidos, já com a indicação de um maior (todas as iterações feitas)

Favor informar		Circuito Atual	Potência Fonte [W]		Circuito Corrigido	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]																																													
Tensão da Rede [V]	127		Potência Fonte [W]	2603,50		Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	2,5	Potência Fonte [W]	2603,50																																										
Potência [W] <b>OU</b>			Potência Carga [W]	2269,99		Potência Fonte [W]	2603,50	Potência Carga [W]	2327,48																																										
Corrente do Disjuntor [A]	20,5		Potência Condutores [W]	333,51		Potência Condutores [W]	276,02	Potência Condutores [W]	276,02																																										
Percurso do circuito [m]	40		Perda por metro [W]	4,17		Perda por metro [W]	3,45	Perda por metro [W]	3,45																																										
			Queda de tensão acima do limite estabelecido			Limite de queda de tensão		NOK																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Custo (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>metro cabo 2,5mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 2,30</td></tr> <tr><td>metro cabo 4mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 3,70</td></tr> <tr><td>metro cabo 6mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 5,80</td></tr> <tr><td>metro cabo 10mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 9,80</td></tr> <tr><td>kWh</td><td>R\$ 0,83</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">HORAS</td></tr> <tr><td>Tempo de utilização diário [h]</td><td>9</td></tr> <tr><td>Limite de queda de tensão (%)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Custo de mão de obra</td><td>R\$ 100,00</td></tr> </tbody> </table>		Descrição	Custo (R\$)	metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70	metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80	metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80	kWh	R\$ 0,83	HORAS		Tempo de utilização diário [h]	9	Limite de queda de tensão (%)	4	Custo de mão de obra	R\$ 100,00	Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)		R\$ 884,00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bitola requerida [mm<sup>2</sup>]</th> <th>Potência Fonte [W]</th> <th>Potência Carga [W]</th> <th>Potência Condutores [W]</th> <th>Perda por metro [W]</th> <th>Limite de queda de tensão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4</td><td>2603,50</td><td>2432,37</td><td>171,13</td><td>2,14</td><td>NOK</td></tr> <tr><td>6</td><td>2603,50</td><td>2489,53</td><td>113,97</td><td>1,42</td><td>NOK</td></tr> <tr><td>10</td><td>2603,50</td><td>2537,94</td><td>65,56</td><td>0,82</td><td>OK</td></tr> </tbody> </table>			Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	Potência Fonte [W]	Potência Carga [W]	Potência Condutores [W]	Perda por metro [W]	Limite de queda de tensão	4	2603,50	2432,37	171,13	2,14	NOK	6	2603,50	2489,53	113,97	1,42	NOK	10	2603,50	2537,94	65,56	0,82	OK
Descrição	Custo (R\$)																																																		
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30																																																		
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70																																																		
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80																																																		
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80																																																		
kWh	R\$ 0,83																																																		
HORAS																																																			
Tempo de utilização diário [h]	9																																																		
Limite de queda de tensão (%)	4																																																		
Custo de mão de obra	R\$ 100,00																																																		
Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	Potência Fonte [W]	Potência Carga [W]	Potência Condutores [W]	Perda por metro [W]	Limite de queda de tensão																																														
4	2603,50	2432,37	171,13	2,14	NOK																																														
6	2603,50	2489,53	113,97	1,42	NOK																																														
10	2603,50	2537,94	65,56	0,82	OK																																														
		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)		R\$ 74,88	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bitola requerida [mm<sup>2</sup>]</th> <th>Potência Fonte [W]</th> <th>Potência Carga [W]</th> <th>Potência Condutores [W]</th> <th>Perda por metro [W]</th> <th>Limite de queda de tensão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>2603,50</td><td>2489,53</td><td>113,97</td><td>1,42</td><td>NOK</td></tr> <tr><td>10</td><td>2603,50</td><td>2537,94</td><td>65,56</td><td>0,82</td><td>OK</td></tr> </tbody> </table>			Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	Potência Fonte [W]	Potência Carga [W]	Potência Condutores [W]	Perda por metro [W]	Limite de queda de tensão	6	2603,50	2489,53	113,97	1,42	NOK	10	2603,50	2537,94	65,56	0,82	OK																										
Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	Potência Fonte [W]	Potência Carga [W]	Potência Condutores [W]	Perda por metro [W]	Limite de queda de tensão																																														
6	2603,50	2489,53	113,97	1,42	NOK																																														
10	2603,50	2537,94	65,56	0,82	OK																																														
		Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)		R\$ 14,72																																															
		economia		R\$ 60,16																																															
		Tempo de Retorno (meses) :		14,7																																															
 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Gestão de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e de Tecnologia em Automação Industrial</p> <p>Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p>		 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>		<p>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</p>																																															



Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Circuito identificando queda de tensão fora dos limites nos condutores corrigidos, já com a indicação de um maior (todas as iterações feitas a partir de um cabo 6mm<sup>2</sup>)

Favor informar		Circuito Atual	Potência Fonte [W]		Circuito Corrigido	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]																																	
Tensão da Rede [V]	127		Potência Fonte [W]	3810,00		Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	6	Potência Fonte [W]	3810,00																														
Potência [W] <b>OU</b>	3810		Potência Carga [W]	3095,76		Potência Fonte [W]	3810,00	Potência Carga [W]	3669,60																														
Corrente do Disjuntor [A]			Potência Condutores [W]	714,24		Potência Condutores [W]	244,08	Potência Condutores [W]	244,08																														
Percurso do circuito [m]	40		Perda por metro [W]	8,93		Perda por metro [W]	3,05	Perda por metro [W]	3,05																														
			Corrente acima do limite do condutor			Limite de queda de tensão		NOK																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Custo (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>metro cabo 2,5mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 2,30</td></tr> <tr><td>metro cabo 4mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 3,70</td></tr> <tr><td>metro cabo 6mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 5,80</td></tr> <tr><td>metro cabo 10mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 9,80</td></tr> <tr><td>kWh</td><td>R\$ 0,83</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">HORAS</td></tr> <tr><td>Tempo de utilização diário [h]</td><td>6</td></tr> <tr><td>Limite de queda de tensão (%)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Custo de mão de obra</td><td>R\$ 100,00</td></tr> </tbody> </table>		Descrição	Custo (R\$)	metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70	metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80	metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80	kWh	R\$ 0,83	HORAS		Tempo de utilização diário [h]	6	Limite de queda de tensão (%)	4	Custo de mão de obra	R\$ 100,00	Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)		R\$ 884,00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bitola requerida [mm<sup>2</sup>]</th> <th>Potência Fonte [W]</th> <th>Potência Carga [W]</th> <th>Potência Condutores [W]</th> <th>Perda por metro [W]</th> <th>Limite de queda de tensão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>3810,00</td><td>3669,60</td><td>140,40</td><td>1,76</td><td>OK</td></tr> </tbody> </table>			Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	Potência Fonte [W]	Potência Carga [W]	Potência Condutores [W]	Perda por metro [W]	Limite de queda de tensão	10	3810,00	3669,60	140,40	1,76	OK
Descrição	Custo (R\$)																																						
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30																																						
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70																																						
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80																																						
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80																																						
kWh	R\$ 0,83																																						
HORAS																																							
Tempo de utilização diário [h]	6																																						
Limite de queda de tensão (%)	4																																						
Custo de mão de obra	R\$ 100,00																																						
Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	Potência Fonte [W]	Potência Carga [W]	Potência Condutores [W]	Perda por metro [W]	Limite de queda de tensão																																		
10	3810,00	3669,60	140,40	1,76	OK																																		
		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)		R\$ 106,91																																			
		Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)		R\$ 21,02																																			
		economia		R\$ 85,89																																			
		Tempo de Retorno (meses) :		10,3																																			
 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Gestão de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e de Tecnologia em Automação Industrial</p> <p>Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p>		 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>		<p>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</p>																																			

Fonte: Autoria própria

Figura 12 - Tabela mostrando que não é possível calcular os valores dentro da norma para o circuito informado



Favor informar		Circuito Atual	Potência Fonte [W]	3810,00	Circuito Corrigido	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	6											
Tensão da Rede [V]	127		Potência Carga [W]	2738,64		Potência Fonte [W]	3810,00											
Potência [W] OU	3810		Potência Condutores [W]	1071,36		Potência Carga [W]	3443,88											
Corrente do Disjuntor [A]			Perda por metro [W]	8,93		Potência Condutores [W]	366,12											
Percurso do circuito [m]	60		Corrente acima do limite do condutor			Perda por metro [W]	3,05											
<b>Esta tabela não atende a este circuito</b>						Limite de queda de tensão	NOK											
Descrição		Custo (R\$)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bitola requerida [mm<sup>2</sup>]</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Potência Fonte [W]</td> <td>3810,00</td> </tr> <tr> <td>Potência Carga [W]</td> <td>3599,40</td> </tr> <tr> <td>Potência Condutores [W]</td> <td>210,60</td> </tr> <tr> <td>Perda por metro [W]</td> <td>1,76</td> </tr> <tr> <td>Limite de queda de tensão</td> <td>NOK</td> </tr> </tbody> </table>				Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	10	Potência Fonte [W]	3810,00	Potência Carga [W]	3599,40	Potência Condutores [W]	210,60	Perda por metro [W]	1,76	Limite de queda de tensão	NOK
Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	10																	
Potência Fonte [W]	3810,00																	
Potência Carga [W]	3599,40																	
Potência Condutores [W]	210,60																	
Perda por metro [W]	1,76																	
Limite de queda de tensão	NOK																	
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$	2,30																
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$	3,70																
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$	5,80																
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$	9,80																
kWh	R\$	0,83																
		HORAS																
Tempo de utilização diário [h]		6																
Limite de queda de tensão (%)		4																
Custo de mão de obra	R\$	100,00																
		Ministério da Educação <b>Universidade Tecnológica Federal do Paraná</b> Ciência de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e de Tecnologia em Automação Industrial		 <b>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</b>														
Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva		Henrique José de Mendonça Karpem		Juarez Silveira da Rosa														
<small>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 30°C</small>																		

Fonte: Autoria própria

Por fim, a tabela faz um cálculo levando em consideração os valores de condutores, valor do preço do kWh e calcula o tempo que a correção do circuito irá se pagar em função do desperdício de energia nos condutores. Este dado é válido para uma potência fixa fornecida pela fonte, ou seja, a fonte sempre fornecerá a mesma potência para o circuito, independente dos condutores, e a economia está relacionada à energia que deixará de ser gasta nos. Estes dados de valores são editáveis, então esta tabela torna-se útil ao longo do tempo, pois estes valores podem ser modificados de acordo.

Agora, aplicando os valores de condutores a partir de consulta em lojas em Curitiba no mês de maio de 2022 e o valor do kWh cobrado pela concessionária local, é possível aplicar na tabela os dados obtidos em campo para a correção dos circuitos que estão operando com o maior nível de irregularidades. Os circuitos selecionados foram 7, 24 e 26 da tabela de dados obtidos em campo.



Figura 13 - Tabela corrigindo o circuito 7 medido fora de norma

Favor informar		Circuito Atual	Circuito Corrigido		Circuito Corrigido																														
Tensão da Rede [V]	127		Potência Fonte [W]	5302,00	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	10																													
Potência [W] <b>OU</b>	5302		Potência Carga [W]	5108,36	Potência Fonte [W]	5302,00																													
Corrente do Disjuntor [A]			Potência Condutores [W]	193,64	Potência Carga [W]	5263,94																													
Percurso do circuito [m]	5,6		Perda por metro [W]	17,29	Potência Condutores [W]	38,06																													
			Corrente acima do limite do condutor		Perda por metro [W]	3,40																													
					Limite de queda de tensão	OK																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Custo (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>metro cabo 2,5mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 2,30</td></tr> <tr><td>metro cabo 4mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 3,70</td></tr> <tr><td>metro cabo 6mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 5,80</td></tr> <tr><td>metro cabo 10mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 9,80</td></tr> <tr><td>kWh</td><td>R\$ 0,83</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">HORAS</td></tr> <tr><td>Tempo de utilização diário [h]</td><td>24</td></tr> <tr><td>Limite de queda de tensão (%)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Custo de mão de obra</td><td>R\$ 100,00</td></tr> </tbody> </table>		Descrição	Custo (R\$)	metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70	metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80	metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80	kWh	R\$ 0,83	HORAS		Tempo de utilização diário [h]	24	Limite de queda de tensão (%)	4	Custo de mão de obra	R\$ 100,00	<table border="1"> <tr> <td>Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)</td> <td>R\$ 209,76</td> </tr> </table>		Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 209,76	<table border="1"> <tr> <td>Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)</td> <td>R\$ 115,94</td> </tr> <tr> <td>Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)</td> <td>R\$ 22,79</td> </tr> <tr> <td>economia</td> <td>R\$ 93,15</td> </tr> <tr> <td>Tempo de Retorno (meses) :</td> <td>2,3</td> </tr> </table>		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 115,94	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 22,79	economia	R\$ 93,15	Tempo de Retorno (meses) :	2,3
Descrição	Custo (R\$)																																		
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30																																		
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70																																		
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80																																		
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80																																		
kWh	R\$ 0,83																																		
HORAS																																			
Tempo de utilização diário [h]	24																																		
Limite de queda de tensão (%)	4																																		
Custo de mão de obra	R\$ 100,00																																		
Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 209,76																																		
Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 115,94																																		
Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 22,79																																		
economia	R\$ 93,15																																		
Tempo de Retorno (meses) :	2,3																																		
 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Gerência de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e, de Tecnologia em Automação Industrial</p> <p>Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p> <p><small>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</small></p>		 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>																																	

Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto na Figura 13, ao adequar o circuito, a economia de energia dissipada nos condutores é capaz de pagar a correção segundo a norma em dois meses e meio, caso o circuito funcione durante 24 horas por dia, se utilizado o condutor coerente para o circuito.

Figura 14 - Tabela corrigindo o circuito 24 medido fora de norma

Favor informar		Circuito Atual	Circuito Corrigido		Circuito Corrigido																														
Tensão da Rede [V]	118		Potência Fonte [W]	5987,50	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	10																													
Potência [W] <b>OU</b>	5987,5		Potência Carga [W]	5701,44	Potência Fonte [W]	5987,50																													
Corrente do Disjuntor [A]			Potência Condutores [W]	286,06	Potência Carga [W]	5931,27																													
Percurso do circuito [m]	5,6		Perda por metro [W]	25,54	Potência Condutores [W]	56,23																													
			Corrente acima do limite do condutor		Perda por metro [W]	5,02																													
					Limite de queda de tensão	OK																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Custo (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>metro cabo 2,5mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 2,30</td></tr> <tr><td>metro cabo 4mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 3,70</td></tr> <tr><td>metro cabo 6mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 5,80</td></tr> <tr><td>metro cabo 10mm<sup>2</sup></td><td>R\$ 9,80</td></tr> <tr><td>kWh</td><td>R\$ 0,83</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">HORAS</td></tr> <tr><td>Tempo de utilização diário [h]</td><td>5</td></tr> <tr><td>Limite de queda de tensão (%)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Custo de mão de obra</td><td>R\$ 450,00</td></tr> </tbody> </table>		Descrição	Custo (R\$)	metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30	metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70	metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80	metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80	kWh	R\$ 0,83	HORAS		Tempo de utilização diário [h]	5	Limite de queda de tensão (%)	4	Custo de mão de obra	R\$ 450,00	<table border="1"> <tr> <td>Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)</td> <td>R\$ 559,76</td> </tr> </table>		Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 559,76	<table border="1"> <tr> <td>Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)</td> <td>R\$ 35,68</td> </tr> <tr> <td>Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)</td> <td>R\$ 7,01</td> </tr> <tr> <td>economia</td> <td>R\$ 28,67</td> </tr> <tr> <td>Tempo de Retorno (meses) :</td> <td>19,5</td> </tr> </table>		Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 35,68	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 7,01	economia	R\$ 28,67	Tempo de Retorno (meses) :	19,5
Descrição	Custo (R\$)																																		
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30																																		
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70																																		
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80																																		
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80																																		
kWh	R\$ 0,83																																		
HORAS																																			
Tempo de utilização diário [h]	5																																		
Limite de queda de tensão (%)	4																																		
Custo de mão de obra	R\$ 450,00																																		
Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$ 559,76																																		
Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$ 35,68																																		
Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$ 7,01																																		
economia	R\$ 28,67																																		
Tempo de Retorno (meses) :	19,5																																		
 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Gerência de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e, de Tecnologia em Automação Industrial</p> <p>Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p> <p><small>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</small></p>		 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>																																	

Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto na Figura 14, ao adequar o circuito, a economia de energia dissipada nos condutores é capaz de pagar a correção segundo a norma em aproximadamente sete meses e meio, caso o circuito funcione durante 5 horas por dia, se utilizado o condutor coerente para o circuito.



Figura 15 - Tabela corrigindo o circuito 24 medido fora de norma

Favor informar		Circuito Atual	Potência Fonte [W]	3370,00	Circuito Corrigido	Bitola requerida [mm <sup>2</sup> ]	6
Tensão da Rede [V]	119		Potência Carga [W]	3280,90		Potência Fonte [W]	3370,00
Potência [W] <b>OU</b>	3370		Potência Condutores [W]	89,10		Potência Carga [W]	3339,55
Corrente do Disjuntor [A]			Perda por metro [W]	7,96		Potência Condutores [W]	30,45
Percurso do circuito [m]	5,6		Corrente acima do limite do condutor			Perda por metro [W]	2,72
				Limite de queda de tensão	OK		

Descrição	Custo (R\$)	Custos para reparo do circuito (apenas a troca dos condutor)	R\$	184,96
metro cabo 2,5mm <sup>2</sup>	R\$ 2,30			
metro cabo 4mm <sup>2</sup>	R\$ 3,70			
metro cabo 6mm <sup>2</sup>	R\$ 5,80			
metro cabo 10mm <sup>2</sup>	R\$ 9,80			
kWh	R\$ 0,83			
HORAS				
Tempo de utilização diário [h]	9	Valores gastos com o circuito fora de norma (mensal)	R\$	20,01
Limite de queda de tensão (%)	4	Valores gastos com o circuito de acordo com a norma (mensal)	R\$	6,84
Custo de mão de obra	R\$ 120,00	economia	R\$	13,17
		Tempo de Retorno (meses) :		14,0

 <p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Ciência de Ensino e Pesquisa Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT Coordenação dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e de Tecnologia em Automação Industrial</p>	 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>
<p>Tabela desenvolvida por Fabio Bueno Silva Henrique José de Mendonça Karpem Juarez Silveira da Rosa</p> <p><small>Cálculo para circuitos residenciais considerando condutores isolados com PVC 70°C instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com 3 condutores carregados por eletroduto, temperatura ambiente de 20°C</small></p>	

Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto na Figura 15, ao adequar o circuito, a economia de energia dissipada nos condutores é capaz de pagar a correção segundo a norma em aproximadamente catorze meses e meio, caso o circuito funcione durante 9 horas por dia, se utilizado o condutor coerente para o circuito.

Esta tabela é apenas capaz de calcular circuitos para tensões de até 1000V CA com corrente máxima exigida de 50 Ampères



## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou dados sobre o consumo dos condutores rígidos que estão operando a longos períodos de tempo (condutores antigos), dentre eles alguns estão fora dos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 5410 (ABNT 2004), provenientes de dimensionamento inadequado dos condutores, e/ou da proteção. Este trabalho teve por finalidade a análise destes dados, comparação com os valores pré-estabelecidos pela norma, seja ela corrente que flui nos condutores, queda de tensão ou resistência interna dos condutores segundo a norma NBR NM 280.

Este trabalho apresentou dados coerentes quanto a estes aspectos, destacando-se a grande disparidade dos circuitos com condutores de seção nominal de  $2,5\text{mm}^2$  quando referido às resistências internas do condutor, os quais em todos os casos medidos, verificou-se que os condutores possuíam resistência interna acima do limite estabelecido pela NBR NM 280, sendo também estes condutores os que mais apresentavam dimensionamento inadequado quanto à corrente máxima suportada.

Conclui também que o uso de condutores operando em condições acima do limite estabelecido pelas normas aumenta o consumo deste condutor, que fica em patamares mais elevados, causando não apenas o custo monetário pela energia dissipada nos condutores, como também riscos à segurança quanto a temperatura máxima de operação dos condutores instalados.

Com a análise de dados coletados, foi notado uma necessidade de parametrizar os valores de perdas monetárias dos condutores de seção nominal de  $2,5\text{mm}^2$ , para ver a viabilidade e tempo de retorno para adequar-se às normas. Desta necessidade foi gerada a tabela dinâmica de perdas de condutores, que podem, ou não, estar operando fora da norma, e caso esteja, indica bitolas corretas para usar, calcula as perdas monetárias devido a este circuito fora de norma e compara com as perdas nos circuitos corrigidos, informando o tempo de retorno do investimento em cabos e mão de obra. Como visto, o tempo de retorno está diretamente relacionado com o tempo de utilização do circuito e o nível de sobrecarga a que o mesmo está submetido.

Este trabalho identificou que as perdas nos condutores em relação à potência total fornecida pela fonte são menores para circuitos de maiores tensões, assim como esperado pela Lei de Ohm, pois as perdas nos condutores estão ligadas somente à corrente que neles passam, não diretamente à tensão da rede.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Edição 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 280: **Condutores de cabos isolados**. Edição 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16819: **Instalações elétricas de baixa tensão – eficiência energética**. Edição 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15920: **Cabos elétricos – Cálculo da corrente nominal – Condições de operação – Otimização econômica das seções dos cabos de potência**. Edição 2011.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. **Saiba mais sobre o Mercosul**. Disponível em <https://www.gov.br/mre/pt-br/assuntos/mercosul/saiba-mais-sobre-o-mercosul/saiba-mais-sobre-o-mercosul>. Acesso em junho de 2022.

CARVALHO Jr, Roberto de. **Instalações Elétricas e o Projeto de Arquitetura**. São Paulo: Edgard Blucher, 2019.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais**; 23ª edição. Brasil. Editora Érica, 2017

CLIMATEMPO. **Temperatura média em Curitiba**. Disponível em <https://www.climatempo.com.br/climatologia/271/curitiba-pr>. Acesso em maio de 2022. COTRIM, Ademaro Alberto Machado de Bitencourt. **Instalações Elétricas**, 4ª Ed., São Paulo: Prentice Hall, 2008.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**, 15ª Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2007.

FERREIRA, Fábio Isaac. **Instalações Elétricas**. São Paulo: Érica, 2018.

GEBRAN, Amaury Pessoa; RIZZATO, Flávio Adalberto Poloni. **Instalações Elétricas Prediais**. Bookman, 2017.

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projetos de Instalações Elétricas Prediais**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Saraiva, 2011.

MAMEDE Filho, João. **Instalações Elétricas Industriais**, 9ª edição. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2017.

NEGRISOLI Manoel E.M. **Instalações Elétricas**, 3ª Ed., São Paulo: Edgard Blucher, 1987.

NERY, Norberto. **Instalações Elétricas – princípios e aplicações**. Disponível em: Minha Biblioteca, (3ed). Editora Saraiva, 2018.

NISKIER, Júlio. MACINTYRE, Archibald. **Instalações elétricas**. Disponível em: Minha Biblioteca, (7th edição). Grupo GEN, 2021.

RODRIGUES, Rodrigo; GUIMARÃES, Rafaela; SOUZA, Diogo Braga da C. **Instalações elétricas**. Disponível em: Minha Biblioteca, Porto Alegre: Sagah, 2017.

SANTOS Jr., Joubert Rodrigues dos. **NR-10: Segurança em Eletricidade - Uma Visão Prática**. Disponível em: Minha Biblioteca, (2ed). Editora Saraiva, 2016.

WALENIA, Paulo Sérgio. **Projetos Elétricos Prediais**. Curitiba, PR: Base Didáticos, 2008.

## ANEXOS

*Figura 16 - Wattímetros operando em paralelo, a fim de conferir se estão coerentes*



*Figura 17 - circuito ideal, na esquerda fonte e na direita carga*



*Figura 18 - circuito ideal, na esquerda fonte e na direita carga*



Figura 19 - circuito exemplo 1, na esquerda fonte e na direita carga

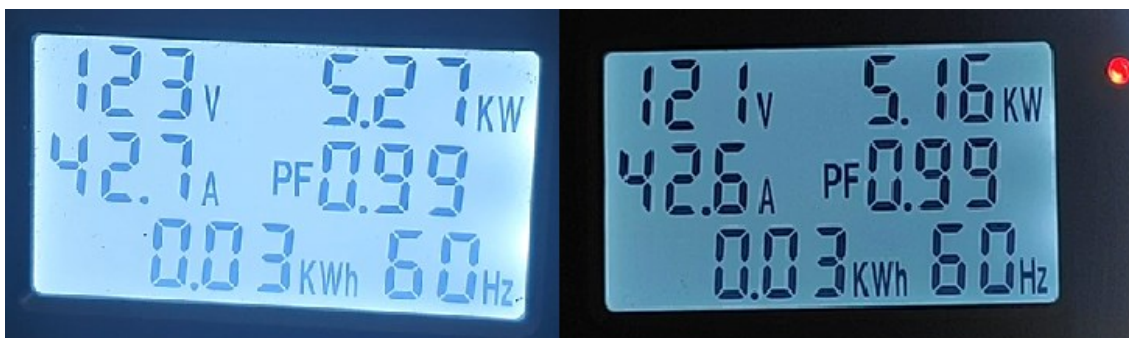


Figura 20 - circuito exemplo 1, na esquerda fonte e na direita carga

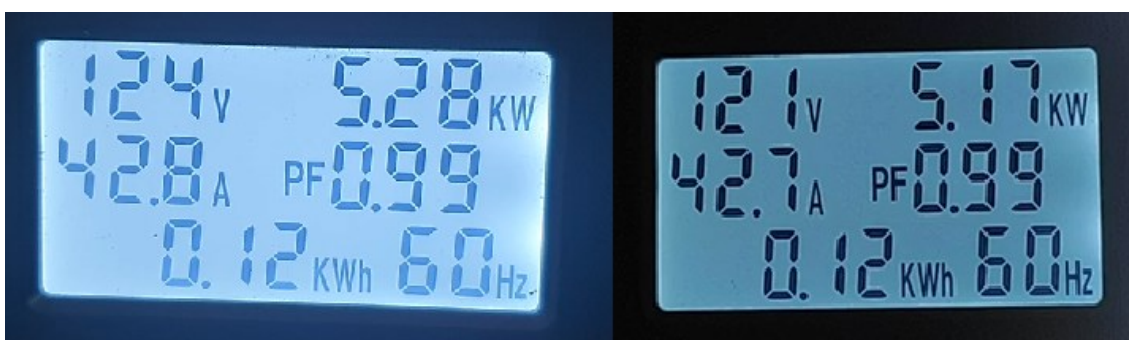


Figura 21 - circuito exemplo 2, na esquerda fonte e na direita carga

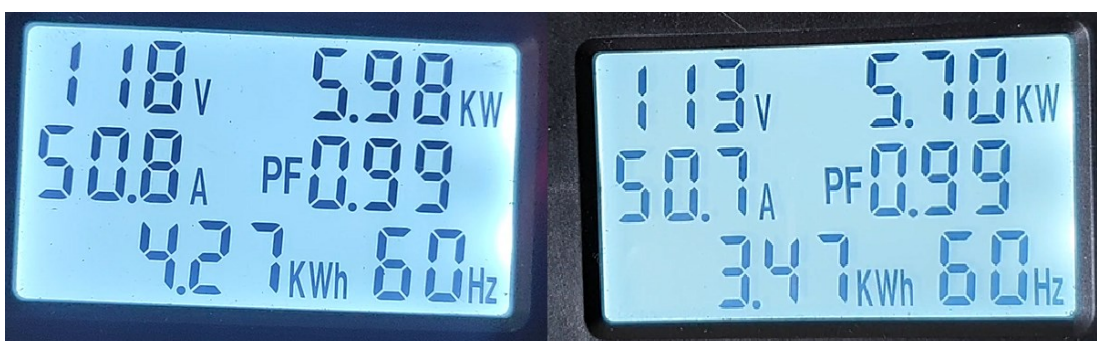


Figura 22 - circuito exemplo 2, na esquerda fonte e na direita carga

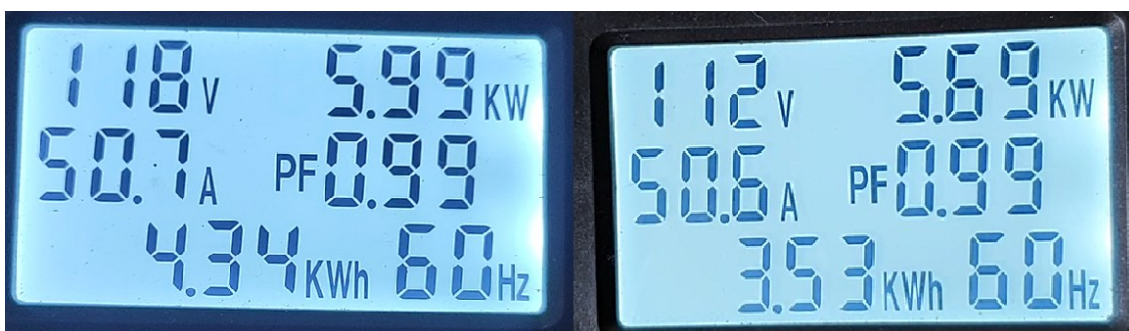


Figura 23 - Tabela 33 NBR5410

Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas

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

Figura 24 - Tabela 36 NBR5410

Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

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



Figura 25 - Tabela 1 NBR NM 280

**Tabla 1 / Tabela 1**  
**Clase 1 - Conductores unifilares para cables unipolares y multipolares /**  
**Casse 1 - Condutores sólidos para cabos de um condutor e multipolares**

1	2	3	4
Sección nominal / Seção nominal	Resistencia eléctrica máxima del conductor a 20 °C / Resistência elétrica máxima do condutor a 20 °C		
	Conductores de cobre circulares / Condutores de cobre circulares		Conductores de aluminio circulares o sectoriales /
	Alambres desnudos / Fios nus	Alambres revestidos / Fios revestidos	Condutores de aluminio circulares ou não-circulares
mm <sup>2</sup>	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0,5	36,0	36,7	-
0,75	24,5	24,8	-
1	18,1	18,2	-
1,5	12,1	12,2	18,1 <sup>2)</sup>
2 <sup>3)</sup>	<b>9,13</b>	<b>9,26</b>	-
2,5	7,41	7,56	12,1 <sup>2)</sup>
4	4,61	4,70	7,41 <sup>2)</sup>
6	3,08	3,11	4,61 <sup>2)</sup>
10	1,83	1,84	3,08 <sup>2)</sup>
16	1,15	1,16	1,91 <sup>2)</sup>
25	0,727 <sup>1)</sup>	-	1,20
35	0,524 <sup>1)</sup>	-	0,868
50	0,387 <sup>1)</sup>	-	0,641
70	0,268 <sup>1)</sup>	-	0,443
95	0,193 <sup>1)</sup>	-	0,320
120	0,153 <sup>1)</sup>	-	0,253
150	0,124 <sup>1)</sup>	-	0,206
185	-	-	0,164
240	-	-	0,125
300	-	-	0,100

<sup>1)</sup> Ver 4.1.2. / Ver 4.1.2  
<sup>2)</sup> Conductores de aluminio circulares solamente, de 1,5 mm<sup>2</sup> a 16 mm<sup>2</sup>. Ver 4.1.3. /  
Condutores de aluminio circulares somente, de 1,5 mm<sup>2</sup> a 16 mm<sup>2</sup>. Ver 4.1.3.  
<sup>3)</sup> Se aplica solamente en Paraguay y Uruguay. / Aplica-se somente para o Paraguai e Uruguai.

Figura 26 - Tabela 3 NBR NM 280

Tabla 3 / Tabela 3  
 Clase 5 - Conductores flexibles de cobre para cables unipolares y multipolares /  
 Classe 5 - Condutores flexíveis de cobre para cabos de um condutor e multipolares

1	2	3	4
Sección nominal / Seção nominal  mm <sup>2</sup>	Diámetro máximo de los alambres del conductor / Diâmetro máximo dos fios no condutor  mm	Resistencia eléctrica máxima del conductor a 20 °C / Resistência elétrica máxima do condutor a 20 °C	
		Alambres desnudos / Fios nus  Ω/km	Alambres revestidos / Fios revestidos  Ω/km
0,5	0,21	39,0	40,1
0,75	0,21	26,0	26,7
1	0,21	19,5	20,0
1,5	0,26	13,3	13,7
<b>2<sup>1)</sup></b>	<b>0,26</b>	<b>9,98</b>	<b>10,3</b>
2,5	0,26	7,98	8,21
4	0,31	4,95	5,09
6	0,31	3,30	3,39
10	0,41	1,91	1,95
16	0,41	1,21	1,24
25	0,41	0,780	0,795
35	0,41	0,554	0,565
50	0,41	0,386	0,393
70	0,51	0,272	0,277
95	0,51	0,206	0,210
120	0,51	0,161	0,164
150	0,51	0,129	0,132
185	0,51	0,106	0,108
240	0,51	0,0801	0,0817
300	0,51	0,0641	0,0654
400	0,51	0,0486	0,0495
500	0,61	0,0384	0,0391
630	0,61	0,0287	0,0292

<sup>1)</sup> Se aplica-solamente en Paraguay y Uruguay. / Aplica-se somente para o Paraguai e Uruguai.