

# ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFÍCIO POR CABEAMENTO OU BARRAMENTO BLINDADO

Lucas da Silva Candido; Thomas Alan Brunot de Bruijn Chaves; Warley de Lima Alves dos Santos  
Orientador: Dr. Paulo Cesar da Silva Emanuel

**Resumo:** Este artigo apresenta os principais fatores à serem levados em consideração no momento da escolha entre cabeamento ou barramento blindado para realização de distribuição de energia elétrica em um edifício de uso coletivo. Durante o estudo, a capacidade de condução de corrente elétrica, a impedância, a queda de tensão, e os custos com mão de obra e material (entre outras características) foram levadas em consideração para ambas opções. Observa-se que o barramento blindado apresenta características vantajosas para a indústria de construção civil, chegando a possibilitar economia de cerca de 50 (%) em comparação com os custos para a mesma instalação utilizando cabos.

**Palavras-chave:** Barramento blindado, Busway, Baixa tensão.

## Viability study for vertical distribution of electric energy in a building by cabling or trunking system

**Abstract:** This article presents the main factors to be considered when choosing between cabling or trunking system for electrical energy distribution for a collective residential building. Throughout the study, the electric current carrying capacity, the impedance, the voltage drop, and labor and material costs (between others characteristics) were taken into consideration for both options. It is observed that trunking system presents advantages for building construction industry where it is possible to save 50 (%) of costs if compared to the expenses of wire solution for the same installation.

**Keywords:** Trunking systems, Busbar, Low-voltage.

### 1. Introdução

A distribuição e consumo de energia elétrica do modo como é conhecida nos dias de hoje teve sua evolução mais significativa entre 1875 e 1900, período no qual registra-se a construção da primeira central elétrica ainda em 1879 na cidade de Nova York, Estados Unidos. Não muito depois, ainda por volta de 1920, voltados para atender a constante alteração de layout da indústria automobilística norte-americana, surgem os barramentos blindados, os quais possibilitavam a montagem e desmontagem das linhas elétricas sem perdas significativas de materiais, diferentemente dos casos em que eram utilizados cabos condutores (PUERTAS; NOGUEIRA, 2022).

No Brasil, o início da utilização de barramentos blindados se deu durante o governo do ex-presidente Juscelino Kubitschek, durante a implementação da indústria automobilística brasileira. Ainda nessa época, foram de grande importância para o setor brasileiro de energia elétrica, devido sua utilização na Usina Hidrelétrica de Furnas, que utilizava barramentos blindados importados dos Estados Unidos (CUNHA, 2009).

Recentemente o uso de barramentos blindados em edifícios comerciais e residenciais, entre outros fatores, pode ser justificado pelo seu atendimento à antiga demanda pela substituição dos processos manuais por processos mais industrializados. Seu uso tem evitado confusões, improvisações e desperdícios durante a execução de obra, representando assim uma maneira encontrada para redução de custos nas instalações. As peças modulares que compõem o barramento blindado são encaixadas como em uma linha de montagem, e quando comparado com instalações elétricas que utilizam cabos

condutores, o barramento blindado permite uma instalação mais rápida e segura (MOREIRA, 2022; POTÊNCIA, 2015).

No entanto, o estudo da viabilidade técnica e econômica para o emprego de barramentos blindados na distribuição de energia elétrica em um determinado edifício deve ser criteriosamente realizado para cada caso individualmente. Assim, neste artigo busca-se avaliar se é viável a utilização de barramento blindado para distribuição vertical de energia elétrica em um edifício residencial com duas torres e 72 unidades consumidoras.

O atual estudo leva em consideração as normas técnicas vigentes no Brasil como NBR 5410 e NBR 60439, Livro de Instruções Gerais de Baixa Tensão, parâmetros fornecidos pelos fabricantes dos barramentos blindados, entre outros fatores. Após o desenvolvimento do trabalho, os custos da solução utilizando cabos condutores ou barramento blindado são comparados, e por fim, a solução mais econômica é apresentada.

## **1.1 Justificativa**

A partir da constatação da necessidade por alternativas aos métodos tradicionais de distribuição de energia elétrica por cabos condutores, este trabalho tem o como objetivo abordar as principais características técnicas e comerciais que tornam viável a utilização de barramentos blindados, e até mesmo preferível em muitos casos. A necessidade em abordar o assunto foi intensificada nos últimos anos pelo cenário socioeconômico mundial afetado pela pandemia do Covid-19, que segundo CBIC (2020, p. 6-8) tem impactado a cadeia mundial de suprimentos, elevado os custos de materiais como o cobre, e comprometido os prazos de entregas de empreendimentos industriais, civis e comerciais por todo o mundo.

Segundo Cunha (2009) a conveniência do barramento blindado para a indústria civil tem sido explorada há alguns anos. Conforme publicado na revista Potência (2015), a geração de menor quantidade de resíduos ou sobra, redução do tempo de instalação e outros benefícios como uma melhora na eficiência energética da instalação, contribuem junta e relevantemente para a concepção de projetos mais sustentáveis. Somado a isso, Moreira (2021) relata que o sistema com barramento blindado também é preferível aos cabos quando submetidos à incêndio, e explica que diferentemente dos cabos que liberam halogênios quando queimam, o barramento blindado não possui em sua composição elementos que liberem gases tóxicos – grandes responsáveis pelas vítimas fatais em incêndios.

Além dos benefícios técnicos, corrobora a urgência do tema a variação na disponibilidade de mão de obra afetada pela pandemia do Covid-19, que forçou uma série de restrições e paralizações pelo mundo (CBIC, 2020). A instabilidade dos custos, que pode ser facilmente percebida quando visualizamos a elevação da cotação da tonelada do cobre, que de acordo com dados divulgados no site da LME (2022), em um período de um ano, partindo de maio de 2020 sofreu um aumento de aproximadamente 104,4 (%) conforme Figura 1, agrega ainda mais relevância ao assunto.

**Figura 1 – Variação da cotação do cobre entre maio de 2020 e maio de 2021**



**Fonte: LME – Official Prices Graph (2022)**

Fundamentado nos dados apresentados, esse trabalho explorará a viabilidade da utilização de barramentos blindados partindo da necessidade de distribuição de energia elétrica em um edifício em fase de projeto, localizado na grande São Paulo. Espera-se ainda com os resultados encontrados, contribuir com a comunidade interessada nos benefícios do barramento blindado, que segundo Moreira (2022) é mais seguro, mais prático e mais barato, com o qual é possível reduzir o uso de mão de obra de montagem em até 80 (%).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Comparar a solução via barramento blindado com o método tradicional que utiliza fios e cabos, avaliando as vantagens e desvantagens técnicas e econômicas de suas aplicações quando utilizados para distribuição de energia elétrica em um empreendimento residencial da grande São Paulo.

### **1.2.2 Objetivo específico**

- a) Comparar características técnicas do sistema com barramento blindado com o sistema tradicional por fios e cabos, tais como a capacidade de condução de corrente elétrica e a queda de tensão;
- b) Destacar as vantagens e desvantagens do sistema com barramento blindado sobre o sistema por fios e cabos;
- c) Estimar o tempo de implementação das duas soluções;
- d) Identificar qual dos dois métodos de distribuição de energia elétrica é mais viável técnica e economicamente para o problema proposto.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Evolução do uso de condutores elétricos**

Desde os primeiros projetos os condutores preferíveis foram os de cobre e alumínio, tendo no entanto, o cobre sido utilizado quase que exclusivamente, devido sua resistência, maleabilidade, ductilidade, condutividade e custo relativamente baixo (FLOY, 1909).

Segundo Moore (1997) os condutores têm evoluído significativamente desde os anos 1880, dada a necessidade de transmissão de potências cada vez maiores, por trechos distantes, e também com propósito de melhora da vida útil dos condutores e aumento da segurança

nas instalações elétricas. O Quadro 1 apresenta algumas datas significativas na história da evolução dos condutores e suas isolações.

**Quadro 1 – Datas significantes no desenvolvimento de cabos**

<b>Data</b>	<b>Acontecimento</b>
Anos 1880	Primeiro cabo com isolação de gutta percha, seguido de borracha e betume vulcanizado
1890	Cabo tubular Ferrantini 10 kV, e início da utilização de isolação de papel
1926	Princípio de pressurização com fluido para cabos com isolação de papel e tensão de 66 kV em diante
Anos 1950	Introdução do PVC para uso comercial, e utilização gradual de cabos de alumínio
Anos 1970	Extensão gradual do uso de cabos com isolamento termofixo, principalmente XLPE, como alternativa para isolamento de papel
Anos 1980	Descoberta dos materiais supercondutores de altas temperaturas Melhorias das propriedades dos cabos quando submetidos à fogo, tais como propagação reduzida de chamas, baixa emissão de fumaça e emissão reduzida de gases corrosivos e vapores nocivos
Anos 1990	Maior uso de polímeros para aplicações de extra alta tensão Demonstrações práticas dos cabos supercondutores

**Fonte: Adaptado de Moore (1997)**

## **2.2 Evolução do uso de sistemas com barramento blindado**

Os primeiros sistemas com barramento blindado da indústria automobilística norte-americana dos anos 1920 eram fabricados com barras de cobre trefiladas, com cantos arredondados, isoladores de cerâmica, e montadas dentro de uma proteção metálica aterrada (CUNHA, 2009).

No Brasil, entre 1994 e 2009 a utilização dos sistemas com barramento blindado foi intensificada, tendo sua demanda puxada pela indústria civil, para aplicações como shoppings centers e edifícios comerciais e residenciais. Em shoppings centers, onde a alteração de layout das inúmeras lojas é comum, torna-se viável a utilização de sistemas com barramento blindado. O mesmo ocorre em algumas edificações comerciais, onde empresas decidem por expandir a quantidade de salas alugadas, aumentando sua área útil (CUNHA, 2009; MOREIRA 2022).

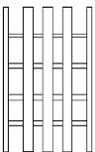
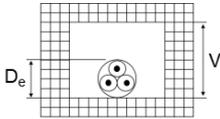
## **2.3 Comparativo das características físicas e instalação**

A distribuição de energia elétrica em edifícios pode ser realizada tanto pelo método tradicional, utilizando cabos condutores, quanto através de sistema com barramento blindado. Independentemente do método, faz-se necessário observar as especificações técnicas recomendadas para o método selecionado ainda na fase do projeto. Ambas soluções requerem sistemas de fixações, condições ambientais determinadas, entre outros fatores (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 5410, 2004).

Sendo a distribuição de energia elétrica em um edifício composta por trechos horizontais e verticais, ao utilizar cabos condutores, pelo menos dois métodos de instalação especificados pela NBR 5410 são normalmente empregados. Geralmente o trecho horizontal da distribuição é feito pelo método de instalação de número 16. Já o trecho vertical da distribuição é realizado pelo interior de espaços de construção identificado pelo

método de instalação número 21. As características dos dois métodos de instalação, estão representadas no Quadro 2.

**Quadro 2 – Métodos de instalação para distribuição de energia elétrica**

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência
16		Cabo multipolar ou unipolares em leito	E (multipolar) F (unipolares)
21		Cabos unipolares ou multipolares em espaço de construção	B2 $1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B1 $5 D_e \leq V < 50 D_e$

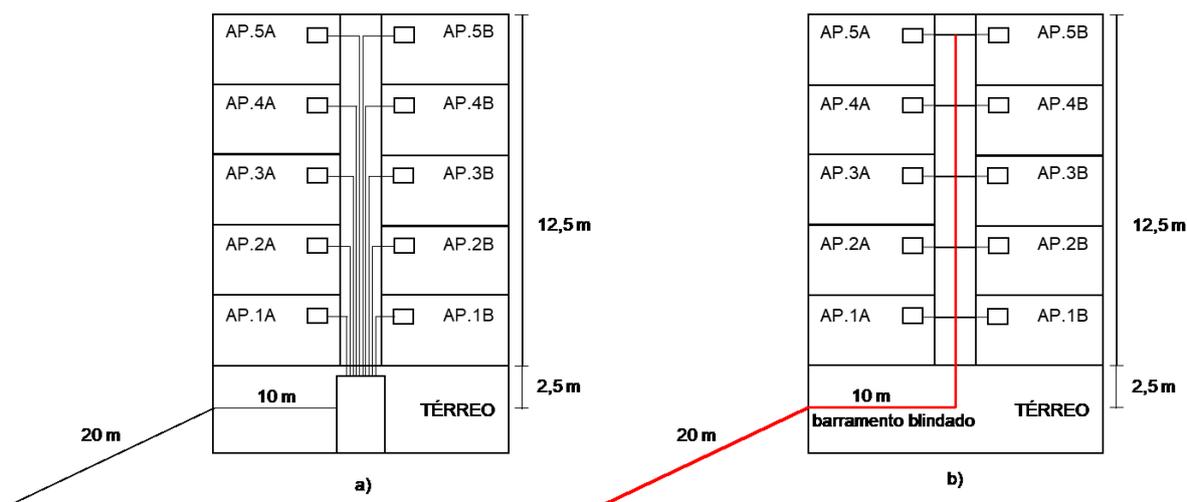
Fonte: Adaptado da Tabela 33 da NBR 5410 (2004)

O método de instalação 16 requer projeto de suporte de todo o leito sobre o qual os cabos serão apoiados. O método de instalação número 21 requer a preparação da instalação para que disponha do espaço de construção vertical pelo qual os cabos condutores serão encaminhados.

Quanto à distribuição vertical pelo método de instalação número 21, além de suportes para os cabos, segundo a IT 009 (2010) deve também ser previsto a compartimentação vertical destinada a impedir a propagação de incêndio entre pavimentos elevados consecutivos.

Para a distribuição de energia elétrica utilizando cabos condutores em um edifício de 5 andares, cada condutor que chega até as unidades de consumo vem diretamente do centro de medição localizado no térreo do edifício, conforme Figura 2a. O Quadro 3 relaciona os componentes mínimos estimados para a execução da instalação ilustrada.

**Figura 2 – Métodos de distribuição de energia elétrica em um edifício**



Fonte: Autoria própria (2022)

**Quadro 3 – Componentes estimados para distribuição de energia elétrica em edifício utilizando cabos condutores**

Componente	Esquema ilustrativo	Unidade	Quantidade	Total
Leito para cabos		3 m	10	30 m
Cotovelo reto		un	1	1 un
Tala para leito		un	22	22 un
Condutores	n.a.	m	30 180	150 m 180 m
Entrepiso corta-fogo	n.a.	instalação	5	5 instalações

Fonte: Autoria própria (2022)

Para edifícios que optam pela distribuição utilizando sistemas com barramento blindado, o método de instalação deve ser realizado de acordo com as instruções do fabricante selecionado (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 5410, 2004). Nota-se que, para edifícios com apenas uma torre, um único barramento blindado é encaminhado, através do qual todos os pavimentos são energizados, conforme Figura 2b.

Tendo como base para instalação a linha de barramentos modelo MB da fabricante Megabarre, o Quadro 4 relaciona os componentes mínimos estimados para a execução da instalação ilustrada na Figura 2b.

**Quadro 4 – Componentes estimados para distribuição de energia elétrica em edifício utilizando barramento blindado**

Componente	Esquema ilustrativo	Unidade	Quantidade	Total
Alimentação de extremidade		un	1	1 un
Elemento reto		3 m	10	30 m
Cotovelo vertical (e horizontal)		un	1	1 un
Elemento reto de distribuição com derivação para um lado		3 m	5	15 m
Entrepiso corta-fogo	n.a.	instalação	5	5 instalações

Fonte: Autoria própria (2022)

Dado o nível simplificado da comparação, ambas soluções apresentam praticamente o mesmo grau de complexidade para instalação. Porém, destaca-se as seguintes diferenças:

a) A utilização de barramento blindado na prumada dos edifícios torna a instalação elétrica mais simples, pois um único sistema energizado faz a distribuição vertical de energia;

b) Ao utilizar barramento blindado é possível economizar espaço no térreo dos edifícios, uma vez que os medidores de energia das unidades de consumo apesar de ficarem nos respectivos andares, possibilitam mediação remota. Com a medição remota a coleta de informações pelo agente de cobrança torna-se centralizada, para a qual o espaço de instalação requerido é muito menor que o convencional;

c) O fato de o barramento blindado possuir invólucro composto por aço e alumínio, elimina-se o risco de acidentes elétricos causados por roedores, que segundo Zuben (2006) roem objetos resistentes como cabos elétricos, madeira e até mesmo concreto, visando desgastar seus dentes que crescem semanalmente. Este fato é tão relevante, que segundo o IDPH (2022) estima-se que cerca de 25 (%) dos incêndios atribuídos a causas desconhecidas nos Estados Unidos foram na verdade iniciados pela ação de roedores em linhas elétricas ou similares.

## 2.4 Características dos condutores utilizados em instalações elétricas

A NBR 5410 (2004) determina que os condutores empregados em linhas elétricas devem ser de cobre ou alumínio. Ambos materiais apresentam propriedades que os tornam viáveis para uso em instalações elétricas.

Segundo Moore (1997) o alumínio tem condutividade elétrica equivalente à 61 (%) da condutividade do cobre, e densidade de aproximadamente um terço da densidade do cobre. Bunte (1974) afirma que a diferença de peso é um atrativo para a utilização do alumínio, no entanto, explica que para mesma capacidade de condução o diâmetro de um condutor de alumínio é aproximadamente 25 (%) maior que o diâmetro do condutor de cobre.

Considerando a condutividade do cobre como sendo 100 (%), conforme *International Annealed Copper Standard* (IACS) estabelecido pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), o Quadro 5 apresenta a condutividade relativa dos principais metais.

<b>Metal</b>	<b>Condutividade relativa</b>	<b>Resistividade elétrica à 20 °C 10<sup>-8</sup> (Ωm)</b>
Prata	106	1,626
Cobre	100	1,724
Alumínio	61	2,803

**Fonte: Adaptado de Moore (1997)**

O Quadro 6 apresenta algumas propriedades físicas do cobre e do alumínio.

<b>Propriedade</b>	<b>Cobre</b>	<b>Alumínio</b>
Densidade à 20 (°C)	8890	2703
Ponto de fusão (°C)	1083	659
Condutividade térmica (W cm <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> )	3,8	2,4

**Fonte: Adaptado de Moore (1997)**

Com relação à isolação dos condutores, a ABNT 5410 (2004) especifica para instalações elétricas de baixa tensão a utilização de condutores com isolação EPR, PVC ou XLPE. O Quadro 7 relaciona as temperaturas permitidas, na condição de transporte contínuo de corrente elétrica em funcionamento normal por longos períodos em funcionamento.

**Quadro 7 – Temperatura característica dos condutores**

Tipo de isolação	Temperatura condutor °C		
	Máxima em serviço contínuo	Limite de sobrecarga	Limite de curto-circuito
PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup>	70	100	160
PVC > 300 mm <sup>2</sup>	70	10	140
EPR	90	130	250
XLPE	90	130	250

Fonte: Adaptado da Tabela 35 da NBR 5410 (2004)

Nos sistemas com barramento blindado, os condutores ativos devem ser de cobre eletrolítico com pureza de 99,9 (%) ou de alumínio nas ligas 1350, 6101, 6060, 6063 ou outra. Devem ser projetados para correntes entre 160 e 6000 (A), e tensão de utilização de até 1 (kV) com frequência de 60 (Hz). Os condutores devem possuir isolação por aplicação de fita ou filme de poliéster, cobertura termocontrátil ou pintura eletrostática que suporte temperatura de até 130 (°C). Dispensa-se a necessidade de isolação para sistemas que possuam suas barras condutoras espaçadas e grau de proteção IP54 ao menos (ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA NTE-8.444, 2018).

Segundo Agrawa (2001), deve-se atentar ao fato de que em áreas húmidas e corrosivas o alumínio corrói mais rápido que o cobre, fazendo-se necessário que para cada caso seja realizado um estudo específico de viabilidade.

## 2.5 Comparativo da capacidade de condução de corrente elétrica

A corrente nominal dos condutores é definida como a corrente que pode ser conduzida de maneira contínua sem que haja risco de falhas e elevação da temperatura das partes do conjunto (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 61439-1, 2016). A NBR 61439-6 (2018) acrescenta que a corrente nominal de um circuito deve ser superior ou igual à corrente de projeto presumida.

Segundo a LIG BT (2014, pg. 220), a corrente demandada em um único barramento blindado não deve ser superior à 3000 (A), e para os casos em que a demanda ultrapasse esse valor, faz-se necessário prever circuitos adicionais, de modo que em nenhum barramento a corrente conduzida exceda o limite determinado.

Um fator relevante que afeta a capacidade de condução de corrente elétrica dos condutores é a temperatura no ambiente em que estão instalados. As tabelas 36 à 39 apresentadas na NBR 5410 têm como base a temperatura ambiente à 30 (°C), sendo que, para temperaturas diferentes deve-se aplicar um fator de correção para determinação da nova capacidade de condução. À 35 (°C) um cabo com isolação de PVC tem sua capacidade de condução reduzida para 94 (%), enquanto que para um cabo com isolação de EPR ou XLPE reduz-se para 96 (%) (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 5410, 2004).

Para barramentos blindados as correntes nominais são informadas à temperatura ambiente de 35 (°C) (o que, dependendo do caso, pode representar uma vantagem frente à temperatura de referência de 30 (°C) dos cabos), e de maneira similar aos cabos, os

barramentos também apresentam efeito de redução de sua capacidade de condução para temperaturas mais elevadas que a temperatura de referência (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA IEC 61439-1, 2016).

Para cabos e barramentos blindados a corrente  $I'_{nA}$  obtida após aplicação do fator de correção de temperatura pode ser calculada conforme Equação 1. O Gráfico 1 mostra os fatores de correção de temperatura para cabos em geral e para o barramento blindado da linha MB da fabricante Megabarre (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 5410, 2004; NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 61439-6, 2018, p. 5).

$$I'_{nA} = I_{nA} \cdot k_{1A} \quad (1)$$

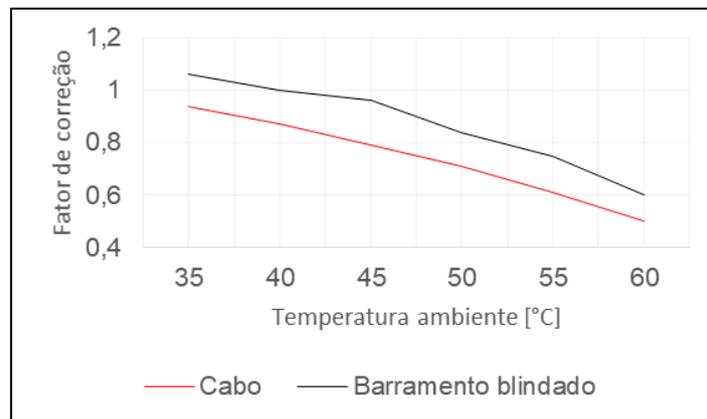
Sendo:

$I'_{nA}$ : Corrente corrigida pelo fator de temperatura (A);

$I_{nA}$ : Corrente nominal do condutor à temperatura de referência (A);

$k_{1A}$ : Fator de correção para a temperatura em questão.

**Gráfico 1 – Comparativo entre fatores de correção de temperatura de cabos condutores e barramentos blindados**



Fonte: Adaptado de NBR 5410 (2004); Megabarre (2022)

Assim como os cabos, barramentos blindados também apresentam valores diferentes de capacidade de condução dependendo do método de instalação. À princípio, barramentos podem ser instalados nas orientações horizontal ou vertical, sendo que horizontal é a orientação de referência para a qual o fator  $k_{2C}$  é igual a 1. Utilizando a Equação 2 tem-se a corrente corrigida de um barramento blindado, levando em consideração os fatores de temperatura e instalação (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA 61439-6, 2018).

$$I'_{nC} = I_{nC} \cdot k_{1C} \cdot k_{2C} \quad (2)$$

Sendo:

$I'_{nC}$ : Corrente corrigida pelos fatores de temperatura e instalação (A).

$I_{nC}$ : Corrente nominal do condutor à temperatura de referência (A);

$k_{1C}$ : Fator de correção para a temperatura em questão;

$k_{2C}$ : Fator de correção para o método de instalação em questão.

De maneira geral, a corrente nominal dos barramentos blindados é muito superior à corrente nominal dos cabos condutores, sendo que, para obtenção da mesma capacidade de condução com cabos, faz-se necessário arranjos com mais de um cabo em paralelo por fase. O Quadro 8 relaciona para cada modelo de barramento blindado da fabricante

Novemp com corrente nominal  $I_n$ , o arranjo necessário de cabos de alumínio para obtenção da mesma corrente  $I_n$ . As seções nominais  $S_n$  dos cabos foram selecionadas visando proporcionar maior facilidade para serem encontrados à venda e também pela maior facilidade de manipulação durante a instalação.

**Quadro 8 – Comparativo de capacidade de condução de corrente de cabos condutores em paralelo e barramentos blindados de alumínio**

Barramento blindado		Cabo condutor (método de referência B1)		
Modelo	$I_n$ (A)	$S_n$ (mm <sup>2</sup> )	Condutores em paralelo	$I_n$ resultante (A)
MBCal 800	800	95	5	805
		120	6	1120
MBCal 1000	1000	240	4	1150
		240	11	3170

Fonte: Adaptado da Tabela 36 da NBR 5410 (2004); Novemp (2022)

## 2.6 Queda de tensão

O LIG BT (2014) estabeleceu em 2 (%) a máxima queda de tensão admissível em edifícios residenciais para trechos constituídos por cabos ou barramento blindado de cobre ou alumínio, considerado desde o ponto de entrega de energia elétrica pela concessionária até o ponto de medição mais distante.

Em circuitos trifásicos a queda de tensão, a impedância  $Z$  por fase e a queda de tensão percentual em condutores podem ser calculadas conforme Equação 3, Equação 4 e Equação 5, respectivamente (LIG BT, 2014).

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot L \cdot Z \cdot I \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

$$Z = R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi \quad (4)$$

$$\Delta V_{\%} = (\Delta V / V) \cdot 100 \quad (5)$$

Sendo:

$L$ : Comprimento do condutor (m);

$Z$ : Impedância de fase (mΩ/m);

$I$ : Corrente de carga na extremidade do trecho (A);

$R$ : Resistência de fase em corrente alternada, à temperatura de operação (mΩ/m);

$X$ : Reatância da fase (mΩ/m);

$\varphi$ : Ângulo máximo de defasagem entre os vetores tensão e corrente permitido (aproximadamente 23,074°) para obtenção de fator de potência igual à 0,92;

$\Delta V$ : Queda de tensão na extremidade do trecho trifásico (V);

$V$ : Tensão nominal de fase (V);

$\Delta V_{\%}$ : Percentual da queda de tensão na extremidade do trecho trifásico (%).

A NBR IEC 61439-6 (2018) adiciona ao método de cálculo da queda de tensão em sistemas com barramento blindado o fator  $k$  de distribuição das cargas. Para cargas uniformemente distribuídas em  $n$  derivações, o fator  $k$  pode ser obtido conforme Equação 6.

$$k = (n + 1)/(2 \cdot n) \quad (6)$$

Sendo:

$n$ : Número de derivações;

$k$ : Fator de distribuição de cargas.

A queda de tensão no barramento blindado pode então ser calculada conforme Equação 7. Diferentemente da Equação (1), a resistência e a reatância devem ser inseridas em ohm por metro (NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA IEC 61439-6, 2018).

$$u = k \cdot \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \cdot I_b \cdot L \quad (7)$$

Sendo:

$u$ : Queda de tensão no barramento blindado (V);

$I_b$ : Corrente no barramento blindado (A).

### 3 Materiais e métodos

Essa etapa do estudo inicia-se com a apresentação das características do projeto em estudo, com base nas quais a análise de viabilidade foi realizada. Em seguida, são definidos os critérios utilizados para determinação da demanda para o barramento blindado, a demanda já determinada para a instalação por cabos condutores e as impedâncias para os cabos utilizados. Para as duas soluções estudadas são demonstrados os cálculos da demanda (ou a demanda já determinada) e corrente, calculadas as impedâncias e a queda de tensão para ambos os casos. Finalmente, foi realizado um levantamento dos materiais e da mão de obra necessários para execução da distribuição de energia elétrica na prumada do edifício.

Foram elaboradas planilhas auxiliares, com todas as etapas fundamentadas em normas mencionadas ao longo do artigo, bem como em instruções técnicas que apresentam as orientações que devem ser seguidas de acordo com a concessionária de energia elétrica de São Paulo.

Além disso, consultas foram realizadas aos dados de fabricantes, os quais foram fundamentais para a realização da comparação dos custos. Dados esses que estavam disponibilizados nos sites dos fabricantes mencionados.

#### 3.1 Características do projeto base analisado

O desenvolvimento dos cálculos de demanda e queda de tensão foram baseados nas informações do projeto fornecido pela construtora, que inclui os trechos horizontais e verticais do encaminhamento do barramento blindado.

As características da torre 1 e seus apartamentos são:

- 24 unidades sendo 1 unidade por andar;
- Alimentadores trifásicos;
- Apartamento de 329,6 (m<sup>2</sup>);
- Distância entre o centro de medição e o início da prumada (trecho horizontal) de 41(m);
- Pé direito entre pavimentos de 2,88 (m);
- Tensão fornecida ao sistema de 220 (V);

— Potência demandada calculada: 37 (kVA).

As características da torre 2 e seus apartamentos são:

- 48 unidades, com 2 unidades por andar;
- Alimentadores trifásicos;
- Apartamentos de 253,0 (m<sup>2</sup>);
- Distância entre o centro de medição e o início da prumada (trecho horizontal) de 76 (m);
- Pé direito entre pavimentos de 2,88 (m);
- Tensão fornecida ao sistema 220 (V);
- Potência demandada calculada: 29,86 (kVA).

### 3.2 Critério para cálculo de demanda com barramento blindado

Conforme Especificação técnica n. 0126 (2022) o critério para o cálculo de demanda em edifícios de múltiplas unidades consumidoras adotado pela Enel Brasil segue a Recomendação Técnica de Distribuição N° 27 de 1990 do Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. Os cálculos foram realizados utilizando o fator de diversidade  $F_d$  em função do número de unidades consumidoras conforme Quadro 9, e da demanda da unidade em função de sua área conforme Equação 8.

Quadro 9 - Fatores de diversidade de carga

N° Apto	$F_d$								
1	1,00	11	10,42	21	18,04	31	24,08	41	30,12
2	1,96	12	11,2	22	18,65	32	24,69	42	30,73
3	2,92	13	11,98	23	19,25	33	25,29	43	31,33
4	3,88	14	12,76	24	19,86	34	25,9	44	31,94
5	4,84	15	13,54	25	20,46	35	26,5	45	32,54
6	5,8	16	14,32	26	21,06	36	27,1	46	33,1
7	6,76	17	15,1	27	21,67	37	27,71	47	33,66
8	7,72	18	15,88	28	22,27	38	28,31	48	34,22
9	8,68	19	16,66	29	22,88	39	28,92	49	34,78
10	9,64	20	17,44	30	23,48	40	29,52	50	35,34

Fonte: Adaptado de Especificação Técnica n. 0126 (2022)

$$D_u = 0,034939 \cdot A_u^{0,895075} \quad (8)$$

Sendo:

- $D_u$ : Demanda da unidade (kVA);
- $A_u$ : Área da unidade consumidora (m<sup>2</sup>).

Também foi considerado o coeficiente de simultaneidade  $C_s$  em função do número de unidades consumidoras como mostrado no Quadro 10 (AES ELETROPAULO, 1991).

**Quadro 10 – Coeficiente de simultaneidade**

N° Apto	C <sub>s</sub>	N° Apto	C <sub>s</sub>	N° Apto	C <sub>s</sub>
02 a 03	0,98	19 a 21	0,87	34 a 36	0,76
04 a 06	0,97	22 a 24	0,84	37 a 39	0,75
07 a 09	0,96	25 a 27	0,81	40 a 42	0,74
10 a 12	0,95	28 a 30	0,79	43 a 45	0,73
13 a 15	0,91	19 a 21	0,87	46 a 48	0,72
16 a 18	0,89	31 a 33	0,77	49 a 51	0,71

Fonte: Adaptado da Tabela 3.8 do PND-2.4 (1991)

A potência demanda  $D_T$  que o barramento blindado deve suportar por trecho, obtida conforme Equação 9, considera ainda o fator de segurança  $F_s$  relacionada ao possível acréscimo futuro de demanda. O fator de segurança  $F_s$  para esse estudo está à 30 (%).

$$D_T = D_u \cdot F_d \cdot C_s \cdot F_s \quad (9)$$

Sendo:

- $D_u$ : Demanda da unidade em (kVA);
- $F_d$ : Fator de diversidade;
- $C_s$ : Coeficiente de simultaneidade;
- $F_s$ : Fator de segurança visa atender aos possíveis aumentos de carga por novos aparelhos que possam vir a ser utilizados futuramente;
- $D_T$ : Demanda no trecho em (kVA).

Para cada demanda  $D_T$ , a corrente  $I_T$  por trecho foi calculada utilizando a Equação 10.

$$I_T = D_T / (V \cdot \sqrt{3}) \quad (10)$$

Sendo:

- $D_T$ : Demanda por trecho (kVA);
- $V$ : Tensão do sistema (V);
- $I_T$ : Corrente por trecho (A).

### 3.3 Demanda e impedâncias para instalação com cabos

A partir da demanda definida pelo método padrão (considerando as quantidades de pontos de uso geral e específico) e aplicando um fator de simultaneidade aceito pela construtora, definiu-se a demanda dos apartamentos da torre 1 em 37 (kVA), e dos apartamentos da torre 2 em 29,86 (kVA).

Os valores para cálculo das impedâncias dos cabos (necessárias para avaliação da queda de tensão na instalação) foram considerados conforme Quadro 11, disponibilizados pela Nambei, fabricante de cabos de cobre.

Quadro 11 – Resistências e reatâncias de cabos isolados Nambei

Secção (mm <sup>2</sup> )	Corrente Contínua		Corrente Alternada (condutos não magnéticos) Circuitos FN / FF / 3F	
	R <sub>CC</sub>	R <sub>CA</sub>	XL	
35	0,52	0,63	0,11	
50	0,39	0,47	0,11	
70	0,27	0,32	0,10	
95	0,19	0,23	0,10	
120	0,15	0,19	0,10	

Fonte: Adaptado de Nambei (2022)

### 3.4 Observações para determinação da quantidade de cabos

Para as duas soluções estudadas foi necessário considerar uma certa quantidade de cabos. Quando a distribuição é realizada por barramento blindado, para cada pavimento o barramento faz a energização de uma caixa de medição, e os medidores dessa caixa fazem a energização dos QDLs (Quadros de Distribuição de Luz) dos apartamentos através de cabos condutores. Já para o caso da distribuição por cabos, os cabos que chegam ao QDL de cada apartamento vêm do centro de medição do edifício. Para os dois casos a quantidade necessária de cabos de uma certa secção foi determinada conforme Equação 11.

$$Qtd_{Cabo} = D_{andar} \cdot Qtd_{andares} \cdot Qtd_{vias} \quad (11)$$

Sendo:

$Qtd_{Cabo}$ : Quantidade total de cabo (m);

$D_{andar}$ : A distância da Caixa MEC até o QDL do Apartamento (m);

$Qtd_{andares}$ : Quantidade de andares;

$Qtd_{vias}$ : Quantidades de vias do cabo de bitola em questão.

### 3.5 Observações para o cálculo de mão de obra

Com relação à mão de obra, foram utilizados valores conservadores baseados em dados fornecidos pela própria construtora. O valor considerado de um oficial de elétrica, conforme informado pela empresa foi de R\$27,00 por hora.

Os custos com mão de obra para instalação foram calculados conforme Equação 12.

$$Valor_{MO} = V_{hora} \cdot Qtd_{Horas} \cdot Qtd_{funcionários} \quad (12)$$

Sendo:

—  $Valor_{MO}$ : Custo com mão de obra (R\$);

—  $V_{hora}$ : Custo por hora de um oficial de elétrica (R\$);

—  $Qtd_{horas}$ : Quantidade de horas (h);

$Qtd_{funcionários}$ : Quantidade de Oficiais de elétrica.

### 3.6 Cálculo de demanda e queda de tensão

#### 3.6.1 Cálculo para torre 1 com barramento blindado

Para os apartamentos de 329,6 (m<sup>2</sup>), foi aplicada a Equação 8, através da qual encontrou-se a demanda de 6,27 (kVA) por unidade. No primeiro pavimento (24 apartamentos à jusante) o fator de diversidade  $F_d$  é 19,86, conforme indicado no Quadro 9.

Substituindo os valores referentes ao trecho 0 na Equação 9, e considerando o coeficiente de simultaneidade  $C_s$  igual a 1, obteve-se a demanda  $D_{T0}$ .

$$D_{T0} = 6,27 \text{ (kVA)} \cdot 19,86 \cdot 1 \cdot 1,3$$

$$D_{T0} = 161,88 \text{ (kVA)}$$

Aplicando a Equação 10 para o trecho 0, obteve-se a corrente  $I_{T0}$ .

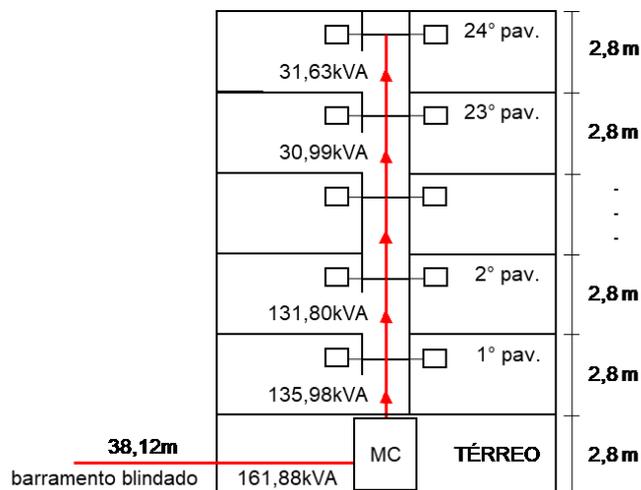
$$I_{T0} = 161,88 \text{ (kVA)} / (220 \text{ (V)} \cdot \sqrt{3})$$

$$I_{T0} = 424,82 \text{ [A]}$$

Como representado na Figura 3, no primeiro pavimento ocorre a derivação da carga. A potência transportada pelo barramento blindado à jusante do trecho 1 é menor, e para determinação das demandas  $D_{T1}$  à  $D_{T24}$  e das correntes  $I_{T1}$  à  $I_{T24}$  utilizou-se do mesmo procedimento demonstrado para cada pavimento.

O Quadro 12 apresenta as potências demandas e as correntes calculadas para a torre 1.

Figura 3 – Distribuição de carga no edifício



Fonte: Autoria própria (2022)

**Quadro 12 – Potencias e correntes por trecho torre 1**

Trecho	$F_d$	Demanda (kVA) $D_U \cdot F_m \cdot F_S$	$C_s$	Total $D_{Tx}$ (kVA)	Corrente $I_T$ (A)	
D <sub>T0</sub>	CM ao Início da prumada	19,86	161,88	1	161,88	424,82
D <sub>T1</sub>	Início da prumada ao 1° Pav	19,86	161,88	0,84	135,98	356,85
D <sub>T2</sub>	1° ao 2° Pav	19,25	156,91	0,84	131,80	345,89
D <sub>T3</sub>	2° ao 3° Pav	18,65	152,02	0,84	127,69	335,11
D <sub>T4</sub>	3° ao 4° Pav	18,04	147,04	0,87	127,93	335,72
D <sub>T5</sub>	4° ao 5° Pav	17,44	142,15	0,87	123,67	324,56
D <sub>T6</sub>	5° ao 6° Pav	16,66	135,80	0,87	118,14	310,04
D <sub>T7</sub>	6° ao 7° Pav	15,88	129,44	0,89	115,20	302,32
D <sub>T8</sub>	7° ao 8° Pav	15,1	123,08	0,89	109,54	287,47
D <sub>T9</sub>	8° ao 9° Pav	14,32	116,72	0,89	103,88	272,62
D <sub>T10</sub>	9° ao 10° Pav	13,54	110,36	0,91	100,43	263,56
D <sub>T11</sub>	10° ao 11° Pav	12,76	104,01	0,91	94,65	248,38
D <sub>T12</sub>	11° ao 12° Pav	11,98	97,65	0,91	88,86	233,20
D <sub>T13</sub>	12° ao 13° Pav	11,2	91,29	0,95	86,73	227,60
D <sub>T14</sub>	13° ao 14° Pav	10,42	84,93	0,95	80,69	211,75
D <sub>T15</sub>	14° ao 15° Pav	9,64	78,58	0,95	74,65	195,90
D <sub>T16</sub>	15° ao 16° Pav	8,68	70,75	0,96	67,92	178,25
D <sub>T17</sub>	16° ao 17° Pav	7,72	62,93	0,96	60,41	158,53
D <sub>T18</sub>	17° ao 18° Pav	6,76	55,10	0,96	52,90	138,82
D <sub>T19</sub>	18° ao 19° Pav	5,8	47,28	0,97	45,86	120,34
D <sub>T20</sub>	19° ao 20° Pav	4,84	39,45	0,97	38,27	100,43
D <sub>T21</sub>	20° ao 21° Pav	3,88	31,63	0,97	30,68	80,51
D <sub>T22</sub>	21° ao 22° Pav	3,88	31,63	0,98	30,99	81,34
D <sub>T23</sub>	22° ao 23° Pav	3,88	31,63	0,98	30,99	81,34
D <sub>T24</sub>	23° ao 24° Pav	3,88	31,63	1	31,63	83,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Para atender às correntes apresentadas no Quadro 12, o barramento blindado MBCal 1000 da empresa Novemp foi selecionado. Operando em corrente nominal, o produto apresenta resistência de 0,0000767 ( $\Omega/m$ ) e reatância de 0,0000168 ( $\Omega/m$ ), de acordo com o Anexo A. A impedância desse barramento é encontrada aplicando a Equação 4.

$$Z = 0,0000767 (\Omega/m) \cdot \cos(23,074^\circ) + 0,0000168 (\Omega/m) \cdot \text{sen}(23,074^\circ)$$

$$Z = 0,000077 (\Omega/m)$$

Aplicando a Equação 6, encontrou-se o valor do fator k de distribuição de cargas.

$$k = (24 + 1)/(2 \cdot 24)$$

$$k = 0,52$$

Conforme Equação 7 as quedas de tensões  $u_T$  foram obtidas. No entanto, para o trecho 0 (horizontal) desconsiderou-se o fator k, pois para esse trecho a carga não está distribuída. Do centro de medições ao início da prumada a distância horizontal  $L_0$  é 38,12 (m).

$$u_0 = \sqrt{3} \cdot 0,000077 (\Omega/m) \cdot 424,82 (A) \cdot 38,12 (m)$$

$$u_0 = 2,16 (V)$$

A queda de tensão percentual foi então calculada através da Equação 5.

$$u_{0\%} = (2,16 (V)/220 (V)) \cdot 100$$

$$u_{0\%} = 0,98 (\%)$$

Para o trecho vertical, substituindo os valores referentes ao trecho 1 na Equação 7, obteve-se a queda de tensão  $u_1$ .

$$u_1 = 0,52 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,000077 (\Omega/m) \cdot 424,82 (A) \cdot 2,8 (m)$$

$$u_1 = 0,072 (V)$$

A queda de tensão percentual foi então calculada através da Equação 5.

$$u_{1\%} = (0,072 (V) / 220 (V)) \cdot 100$$

$$u_{1\%} = 0,033 (\%)$$

Para determinação das quedas de tensão  $u_{T2}$  à  $u_{T24}$  utilizou-se do mesmo procedimento para cada pavimento. A Tabela 1 apresenta os valores calculados para a torre 1.

**Tabela 1 – Queda de tensão torre 1**

	Trecho	Comprimento do trecho $L_T$ (m)	Corrente $I_T$ (A)	Queda de tensão	
				$u_{TX}$ (V)	$u_{TX\%}$ (%)
$U_{T0}$	CM ao Início da prumada	38,12	424,82	2,164	0,984
$U_{T1}$	Início da prumada ao 1° Pav	2,88	356,85	0,072	0,033
$U_{T2}$	1° ao 2° Pav	2,8	345,89	0,069	0,032
$U_{T3}$	2° ao 3° Pav	2,8	335,11	0,067	0,031
$U_{T4}$	3° ao 4° Pav	2,8	335,72	0,067	0,031
$U_{T5}$	4° ao 5° Pav	2,8	324,56	0,065	0,030
$U_{T6}$	5° ao 6° Pav	2,8	310,04	0,062	0,028
$U_{T7}$	6° ao 7° Pav	2,8	302,32	0,061	0,028
$U_{T8}$	7° ao 8° Pav	2,8	287,47	0,058	0,026
$U_{T9}$	8° ao 9° Pav	2,8	272,62	0,055	0,025
$U_{T10}$	9° ao 10° Pav	2,8	263,56	0,053	0,024
$U_{T11}$	10° ao 11° Pav	2,8	248,38	0,050	0,023
$U_{T12}$	11° ao 12° Pav	2,8	233,20	0,047	0,021
$U_{T13}$	12° ao 13° Pav	2,8	227,60	0,046	0,021
$U_{T14}$	13° ao 14° Pav	2,8	211,75	0,042	0,019
$U_{T15}$	14° ao 15° Pav	2,8	195,90	0,039	0,018
$U_{T16}$	15° ao 16° Pav	2,8	178,25	0,036	0,016
$U_{T17}$	16° ao 17° Pav	2,8	158,53	0,032	0,014
$U_{T18}$	17° ao 18° Pav	2,8	138,82	0,028	0,013
$U_{T19}$	18° ao 19° Pav	2,8	120,34	0,024	0,011
$U_{T20}$	19° ao 20° Pav	2,8	100,43	0,020	0,009
$U_{T21}$	20° ao 21° Pav	2,8	80,51	0,016	0,007
$U_{T22}$	21° ao 22° Pav	2,8	81,34	0,016	0,007
$U_{T23}$	22° ao 23° Pav	2,8	81,34	0,016	0,007
$U_{T24}$	23° ao 24° Pav	2,8	83,00	0,017	0,008
SOMA / ACUMULADO:				3,22	1,46

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Conferindo a somatória das quedas de tensão, obteve-se o valor de 1,46 (%). Assim, o barramento escolhido também atende ao critério do limite máximo de queda de tensão.

Considerou-se ainda o cabo de alimentação do QDL (vindo do disjuntor da caixa de medição), instalado de acordo com o método de instalação 7, referência B1, conforme tabela 33 da NBR 5410, e que deve transportar a corrente referente à demanda determinada no projeto base. Pela Equação 10 determinou-se a corrente transportada.

$$I_{Apto} = 37 (kVA) / (220 (V) \cdot \sqrt{3})$$

$$I_{Apto} = 97,1 (A)$$

Pela tabela 36 da NBR 5410 de 2004, com a corrente e o método de instalação do cabo alimentador definido, foi possível concluir que a secção do cabo deve ser de 50 (mm<sup>2</sup>). O condutor terra foi considerado com secção de 25 (mm<sup>2</sup>).

### 3.6.1.1 Cabos alimentadores dos apartamentos da torre 1

O trecho entre a caixa MEC e o QDL do apartamento para a torre 1 é de 9 (m), composto por 3 condutores fase e 1 neutro de 50 (mm<sup>2</sup>), mais 1 condutor terra de 25 (mm<sup>2</sup>).

A quantidade de cabos de 25 (mm<sup>2</sup>) foi calculada conforme Equação 11.

$$Qtd\ Cabo = 9 (m) \cdot 24 (andares) \cdot 1 (via)$$

$$Qtd\ Cabo = 216 (m)$$

A quantidade de cabos de 50 (mm<sup>2</sup>) foi calculada conforme Equação 11.

$$Qtd\ Cabo = 9 (m) \cdot 24 \cdot 4$$

$$Qtd\ Cabo = 864 (m)$$

### 3.6.2 Cálculo para torre 2 com barramento blindado

Para apartamentos de 253,0 (m<sup>2</sup>) conforme Equação 8 a demanda por unidade é de 4,95 (kVA). E pelo Quadro 9, para 48 apartamentos o fator de diversidade  $F_d$  ficou determinado em 34,22. As potências demandas foram calculadas conforme Equação 9.

$$D_{T0} = 4,95 (kVA) \cdot 34,22 \cdot 1,3$$

$$D_{T0} = 220,21 (kVA)$$

Aplicando a Equação 10 para o trecho, obteve-se a corrente transportada.

$$I_{T0} = 220,21 (kVA) / (220 (V) \cdot \sqrt{3})$$

$$I_{T0} = 577,89[A]$$

O Quadro 13 apresenta as demais potências demandadas e correntes por trecho, conforme demonstrado para a torre 1.

**Quadro 13 – Potencia e corrente demandada por trecho torre 2**

Trecho	F <sub>d</sub>	Demanda	C <sub>s</sub>	Total D <sub>Tx</sub>	Corrente I <sub>T</sub>	
		(kVA) $D_U \cdot F_m \cdot F_S$				(kVA)
DT0	CM ao Início da prumada	34,22	220,21	1	220,21	577,89
DT1	Início da prumada ao 1º Pav	33,10	213,00	0,72	153,36	402,46
DT2	1º ao 2º Pav	31,94	213,00	0,72	153,36	402,46
DT3	2º ao 3º Pav	30,73	205,53	0,73	150,04	393,75
DT4	3º ao 4º Pav	29,52	197,75	0,74	146,33	384,03
DT5	4º ao 5º Pav	28,31	189,96	0,74	140,57	368,90
DT6	5º ao 6º Pav	27,10	182,17	0,75	136,63	358,56
DT7	6º ao 7º Pav	25,90	174,39	0,76	132,54	347,81
DT8	7º ao 8º Pav	24,69	166,67	0,76	126,67	332,41
DT9	8º ao 9º Pav	23,48	158,88	0,77	122,34	321,05
DT10	9º ao 10º Pav	22,27	151,09	0,79	119,36	313,25
DT11	10º ao 11º Pav	21,06	143,31	0,79	113,21	297,11
DT12	11º ao 12º Pav	19,86	135,52	0,81	109,77	288,08
DT13	12º ao 13º Pav	18,65	127,80	0,84	107,35	281,72
DT14	13º ao 14º Pav	17,44	120,01	0,84	100,81	264,56
DT15	14º ao 15º Pav	15,88	112,23	0,87	97,64	256,23
DT16	15º ao 16º Pav	14,32	102,19	0,89	90,95	238,67
DT17	16º ao 17º Pav	12,76	92,15	0,89	82,01	215,23
DT18	17º ao 18º Pav	11,20	82,11	0,91	74,72	196,09
DT19	18º ao 19º Pav	9,64	72,07	0,95	68,47	179,68
DT20	19º ao 20º Pav	7,72	62,03	0,95	58,93	154,66
DT21	20º ao 21º Pav	5,80	49,68	0,96	47,69	125,16
DT22	21º ao 22º Pav	3,88	37,32	0,97	36,20	95,01
DT23	22º ao 23º Pav	3,88	24,97	0,97	24,22	63,56
DT24	23º ao 24º Pav	34,22	24,97	1	24,97	65,52

Fonte: Autoria própria (2022)

O barramento escolhido foi o MBCal 1250, que de acordo com o Anexo A possui resistência média por fase de 0,0000132 (Ω/m) e reatância média por fase de 0,0000593 (Ω/m). As quedas de tensão apresentadas na Tabela 2 foram determinadas pelo mesmo procedimento realizado para a torre 1.

**Tabela 2 – Queda tensão torre 2**

Trecho		Comprimento do trecho $L_T$ (m)	Corrente $I_T$ (A)	Queda de tensão	
				$u_{TX}$ (V)	$u_{TX\%}$ (%)
$U_{T0}$	CM ao Início da prumada	93,12	577,89	3,298	1,499
$U_{T1}$	Início da prumada ao 1° Pav	2,88	402,46	0,036	0,016
$U_{T2}$	1° ao 2° Pav	2,8	402,46	0,036	0,016
$U_{T3}$	2° ao 3° Pav	2,8	393,75	0,035	0,016
$U_{T4}$	3° ao 4° Pav	2,8	384,03	0,035	0,016
$U_{T5}$	4° ao 5° Pav	2,8	368,90	0,033	0,015
$U_{T6}$	5° ao 6° Pav	2,8	358,56	0,032	0,015
$U_{T7}$	6° ao 7° Pav	2,8	347,81	0,031	0,014
$U_{T8}$	7° ao 8° Pav	2,8	332,41	0,030	0,014
$U_{T9}$	8° ao 9° Pav	2,8	321,05	0,029	0,013
$U_{T10}$	9° ao 10° Pav	2,8	313,25	0,028	0,013
$U_{T11}$	10° ao 11° Pav	2,8	297,11	0,027	0,012
$U_{T12}$	11° ao 12° Pav	2,8	288,08	0,026	0,012
$U_{T13}$	12° ao 13° Pav	2,8	281,72	0,025	0,012
$U_{T14}$	13° ao 14° Pav	2,8	264,56	0,024	0,011
$U_{T15}$	14° ao 15° Pav	2,8	256,23	0,023	0,010
$U_{T16}$	15° ao 16° Pav	2,8	238,67	0,022	0,010
$U_{T17}$	16° ao 17° Pav	2,8	215,23	0,019	0,009
$U_{T18}$	17° ao 18° Pav	2,8	196,09	0,018	0,008
$U_{T19}$	18° ao 19° Pav	2,8	179,68	0,016	0,007
$U_{T20}$	19° ao 20° Pav	2,8	154,66	0,014	0,006
$U_{T21}$	20° ao 21° Pav	2,8	125,16	0,011	0,005
$U_{T22}$	21° ao 22° Pav	2,8	95,01	0,009	0,004
$U_{T23}$	22° ao 23° Pav	2,8	63,56	0,006	0,003
$U_{T24}$	23° ao 24° Pav	2,8	65,52	0,006	0,003
SOMA / ACUMULADO:				3,87	1,759

Fonte: Autoria própria (2022)

Com queda de tensão de aproximadamente 1,76 (%), conclui-se que o barramento blindado selecionado atende às exigências técnicas da torre 2.

A corrente transportada pelo cabo de alimentação do QDL, instalado de maneira similar ao cabo da torre 1, foi determinada substituindo os valores na Equação 10.

$$I_{Apto} = 29.860 (kVA) / (220 (V) \cdot \sqrt{3})$$

$$I_{Apto} = 78,36 (A)$$

Para  $I_{Apto}$  calculada, a seção do cabo será de 35 (mm<sup>2</sup>), conforme tabela 36 da NBR 5410.

### 3.6.2.1 Cabos alimentadores dos apartamentos da torre 2

A distância entre a caixa MEC do andar e o QDL dos apartamentos é de 15 (m), sendo 6 (m) para uma extremidade, e 9 (m) para a outra. A quantidade necessária de cabos foi determinada conforme Equação 11 conforme demonstrado para a torre 1.

### 3.6.3 Cálculo para torre 1 com cabos

Com demanda para método de instalação por cabos definida à 37 (kVA), substituindo os valores na Equação 10 determina-se a corrente por apartamento.

$$I_{T1} = 37.000 (kVA) / (220 (V) \cdot \sqrt{3})$$

$$I_{T1} = 97,1 (A)$$

Considerando para os apartamentos do primeiro pavimento um cabo de seção 50 (mm<sup>2</sup>) com dados técnicos conforme Quadro 11, e distância de 51 (m) do centro de medição do empreendimento, encontra-se a impedância Z e as quedas de tensões.

$$Z = 0,47 (m\Omega/m) \cdot \cos(23,074^\circ) + 0,11 (m\Omega/m) \cdot \sin(23,074^\circ)$$

$$Z = 0,4755 (m\Omega/m)$$

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot 51 (m) \cdot 0,4755 (m\Omega/m) \cdot 97,1 (A) \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta V = 4,08 (V)$$

$$\Delta V_{\%} = (2,86 (V) / 220 (V)) \cdot 100$$

$$\Delta V_{\%} = 1,85 (\%)$$

Para determinação dos cabos alimentadores, utiliza-se o mesmo procedimento para cada apartamento. A Tabela 3 apresenta os valores calculados.

**Tabela 3 – Dimensionamento do Cabo alimentador da torre 1 a partir da queda de tensão**

Trecho	Comprimento (m)	Potência (kVA)	Corrente (A)	Secção do cabo (mm <sup>2</sup> )	Queda de tensão (V)	Queda de tensão (%)
CM ao Início da prumada	51	37	97,10	50	4,08	1,85
1° ao 2° Pav	53,88	37	97,10	50	4,31	1,96
2° ao 3° Pav	56,76	37	97,10	70	3,18	1,45
3° ao 4° Pav	59,64	37	97,10	70	3,34	1,52
4° ao 5° Pav	62,52	37	97,10	70	3,51	1,59
5° ao 6° Pav	65,4	37	97,10	70	3,67	1,67
6° ao 7° Pav	68,28	37	97,10	70	3,83	1,74
7° ao 8° Pav	71,16	37	97,10	70	3,99	1,81
8° ao 9° Pav	74,04	37	97,10	70	4,15	1,89
9° ao 10° Pav	76,92	37	97,10	70	4,31	1,96
10° ao 11° Pav	79,8	37	97,10	95	3,36	1,53
11° ao 12° Pav	82,68	37	97,10	95	3,48	1,58
12° ao 13° Pav	85,56	37	97,10	95	3,61	1,64
13° ao 14° Pav	88,44	37	97,10	95	3,73	1,69
14° ao 15° Pav	91,32	37	97,10	95	3,85	1,75
15° ao 16° Pav	94,2	37	97,10	95	3,97	1,80
16° ao 17° Pav	97,08	37	97,10	95	4,09	1,86
17° ao 18° Pav	99,96	37	97,10	95	4,21	1,91
18° ao 19° Pav	102,84	37	97,10	95	4,33	1,97
19° ao 20° Pav	105,72	37	97,10	120	3,80	1,73
20° ao 21° Pav	108,6	37	97,10	120	3,90	1,77
21° ao 22° Pav	111,48	37	97,10	120	4,01	1,82
22° ao 23° Pav	114,36	37	97,10	120	4,11	1,87
23° ao 24° Pav	117,24	37	97,10	120	4,22	1,92

Fonte: Autoria Própria (2022)

### 3.6.4 Cálculo para torre 2 com cabos

Com demanda igual à 29,86 (kVA) por apartamento da torre 2, substituindo os valores na Equação 10, determina-se a corrente por apartamento.

$$I_{T1} = 29,86 \text{ (kVA)} / (220 \text{ (V)} \cdot \sqrt{3})$$

$$I_{T1} = 78,36 \text{ (A)}$$

Pelo mesmo conceito de cálculo da torre 1, a Tabela 4 apresenta os valores calculados para os trechos da torre 2.

**Tabela 4 – Dimensionamento do Cabo alimentador da torre 2 a partir da queda de tensão**

Trecho	Comprimento (m)	Potência (kVA)	Corrente (A)	Secção do cabo (mm <sup>2</sup> )	Queda de tensão (V)	(%)
CM ao Início da prumada	98,00	29,86	78,36	95	3,33	1,52
1° ao 2° Pav	100,88	29,86	78,36	95	3,43	1,56
2° ao 3° Pav	103,76	29,86	78,36	95	3,53	1,60
3° ao 4° Pav	106,64	29,86	78,36	95	3,63	1,65
4° ao 5° Pav	109,52	29,86	78,36	95	3,73	1,69
5° ao 6° Pav	112,40	29,86	78,36	95	3,82	1,74
6° ao 7° Pav	115,28	29,86	78,36	95	3,92	1,78
7° ao 8° Pav	118,16	29,86	78,36	95	4,02	1,83
8° ao 9° Pav	121,04	29,86	78,36	95	4,12	1,87
9° ao 10° Pav	123,92	29,86	78,36	95	4,21	1,92
10° ao 11° Pav	126,80	29,86	78,36	95	4,31	1,96
11° ao 12° Pav	129,68	29,86	78,36	95	4,41	2,00
12° ao 13° Pav	132,56	29,86	78,36	120	3,85	1,75
13° ao 14° Pav	135,44	29,86	78,36	120	3,93	1,79
14° ao 15° Pav	138,32	29,86	78,36	120	4,01	1,82
15° ao 16° Pav	141,20	29,86	78,36	120	4,10	1,86
16° ao 17° Pav	144,08	29,86	78,36	120	4,18	1,90
17° ao 18° Pav	146,96	29,86	78,36	120	4,26	1,94
18° ao 19° Pav	149,84	29,86	78,36	120	4,35	1,98
19° ao 20° Pav	152,72	29,86	78,36	120	4,43	2,01
20° ao 21° Pav	155,60	29,86	78,36	150	3,16	1,43
21° ao 22° Pav	158,48	29,86	78,36	150	3,21	1,46
22° ao 23° Pav	161,36	29,86	78,36	150	3,27	1,49
23° ao 24° Pav	164,24	29,86	78,36	150	3,33	1,51

Fonte: Autoria Própria (2022)

## 4. Resultados e Discussão

Após definição das configurações técnicas para execução da instalação por cabos e por barramento blindado, foi realizado o levantamento de custo dos materiais e mão de obra para ambas soluções. Através das informações e valores apresentados foi possível certificar que a distribuição de energia elétrica por barramento blindado pode ser executada em até metade do tempo necessário para a instalação por cabeamento (ou ser executada no mesmo tempo, porém, com metade da mão de obra necessária no método tradicional). Constatou-se ainda que para a distribuição com barramento blindado, o custo dos materiais utilizados é menor, de acordo com o projeto analisado.

#### 4.1 Custo da instalação com barramento blindado na torre 1

Para a torre de 24 andares, foram considerados dois eletricitas, por dois meses, para instalarem o sistema por barramento blindado, realizarem a passagem dos cabos alimentadores dos apartamentos, e a execução da infraestrutura mais passagem e interligação do cabo de comunicação para medição remota.

Substituindo os valores na Equação 12 obteve-se o custo com mão de obra para distribuição de energia elétrica na torre 1, utilizando barramento blindado.

$$\text{Valor}_{MO} = 27,00 \text{ (R\$/h)} \cdot 360 \text{ (h)} \cdot 2 \text{ (funcionários)}$$

$$\text{Valor}_{MO} = \text{R\$ } 19.440,00$$

O Quadro 14 apresenta as quantidades e o custo referente às curvas verticais e horizontais para o percurso do barramento blindado até o início da prumada, dos elementos retos, caixas de medição, e o valor da mão de obra para a torre 1.

**Quadro 14 – Resumo de valores da instalação com barramento blindado para a torre 1**

Item	Quantidade (unidade)	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
Curvas horizontais	7 (unidades)	1.260,00	8.820,00
Curvas verticais	3 (unidades)	1.260,00	3.780,00
Caixas de medição MEC-II (2 medidores)	24 (unidades)	3.591,00	86.184,00
MBCal 1000	104,36 (m)	1.032,99	107.802,84
Cabo 25 (mm <sup>2</sup> )	216 (m)	15,62	3.373,92
50 (mm <sup>2</sup> )	864 (m)	33,06	28.563,84
Mão de Obra	-	-	19.440,00
		TOTAL:	257.964,60

Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.2 Custo da instalação com cabos condutores na torre 1

Para a instalação por cabos foram considerados 3 condutores fase (três vezes a distância entre o centro de medição e a unidade consumidora) e os condutores neutro e terra, duas caixas MEC-XII que serão instaladas dentro do centro de medição, mais o trecho de 9 (m) entre o espaço de construção do andar e o QDL do apartamento

As quantidades de cabos de cada secção necessária, calculadas conforme Equação 11, estão representadas no Quadro 15.

**Quadro 15 – Comprimento dos cabos alimentadores na torre 1**

Trecho	Comprimento (m)	Fase (mm <sup>2</sup> )	Total (m)	Neutro (mm <sup>2</sup> )	Total (m)	Terra (mm <sup>2</sup> )	Total (m)
Desvio C.M. para 1° pav.	60	70	180	70	60	35	60
2° Pav.	62,88	70	188,64	70	62,88	35	62,88
3° Pav.	65,76	70	197,28	70	65,76	35	65,76
4° Pav.	68,64	70	205,92	70	68,64	35	68,64
5° Pav.	71,52	70	214,56	70	71,52	35	71,52
6° Pav.	74,4	70	223,2	70	74,4	35	74,4
7° Pav.	77,28	70	231,84	70	77,28	35	77,28
8° Pav.	80,16	70	240,48	70	80,16	35	80,16
9° Pav.	83,04	70	249,12	70	83,04	35	83,04
10° Pav.	85,92	70	257,76	70	85,92	35	85,92
11° Pav.	88,8	95	266,4	95	88,8	50	88,8
12° Pav.	91,68	95	275,04	95	91,68	50	91,68
13° Pav.	94,56	95	283,68	95	94,56	50	94,56
14° Pav.	97,44	95	292,32	95	97,44	50	97,44
15° Pav.	100,32	95	300,96	95	100,32	50	100,32
16° Pav.	103,2	95	309,6	95	103,2	50	103,2
17° Pav.	106,08	95	318,24	95	106,08	50	106,08
18° Pav.	108,96	95	326,88	95	108,96	50	108,96
19° Pav.	111,84	95	335,52	95	111,84	50	111,84
20° Pav.	114,72	120	344,16	120	114,72	70	114,72
21° Pav.	117,6	120	352,8	120	117,6	70	117,6
22° Pav.	120,48	120	361,44	120	120,48	70	120,48
23° Pav.	123,36	120	370,08	120	123,36	70	123,36
24° Pav.	126,24	120	378,72	120	126,24	70	126,24

Fonte: Autoria Própria (2022)

Para a execução da solução considerou-se quatro eletricitas por dois meses, para fazer a infraestrutura aparente do trecho horizontal até a prumada, passagem de cabos dos apartamentos, e os fechamentos das caixas de medição (dentro do centro de medição) e dos QDLs dos apartamentos.

Substituindo os valores na Equação 12 obteve-se o custo com mão de obra para distribuição de energia elétrica na torre 1, utilizando cabos condutores.

$$\text{Valor}_{MO} = 27 \text{ (R\$/h)} \cdot 360 \text{ (h)} \cdot 4 \text{ (funcionários)}$$

$$\text{Valor}_{MO} = \text{R\$}38.880,00$$

O Resumo dos valores está apresentado no Quadro 16.

**Quadro 16 – Resumo de valores da instalação com cabos condutores na torre 1**

Item	Quantidade (unidade)	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
Caixa MEC-XII (12 medidores)	2 (unidades)	9.159,00	18.318,00
Cabo 35 (mm <sup>2</sup> )	729,6 (m)	14,75	10.761,60
Cabo 50 (mm <sup>2</sup> )	902,88 (m)	23,98	21.651,06
Cabo 70 (mm <sup>2</sup> )	3520,8 (m)	33,88	119.284,70
Cabo 95 (mm <sup>2</sup> )	3611,52 (m)	44,07	159.159,69
Cabo 120 (mm <sup>2</sup> )	2409,6 (m)	64,06	154.358,98
Mão de Obra	–	–	38.880,00
		TOTAL:	522.414,03

Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.3 Custo da instalação com barramento blindado na torre 2

No custo de mão de obra da torre 2 foram consideradas 90 (h) a mais em relação às horas consideradas para a torre 1, pois a torre 2 possui maior quantidade de unidades consumidoras.

O Quadro 17 apresenta as quantidades e o custo referente aos elementos necessários para a distribuição de energia elétrica na torre 2 utilizando barramento blindado.

**Quadro 17 – Resumo de valores da instalação com barramento blindado na torre 2**

Item	Quantidade (unidade)	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
Curvas horizontais	8 (unidades)	1.260,00	10.080,00
Curvas verticais	3 (unidades)	1.260,00	3.780,00
Caixas de medição MEC-II (2 medidores)	24 (unidades)	3.591,00	86.184,00
MBCal 1250	162,24 (m)	1.225,80	198.873,79
Cabo 25 (mm <sup>2</sup> )	360 (m)	15,62	5.623,20
50 (mm <sup>2</sup> )	1440 (m)	33,06	47.606,40
Mão de Obra	–	–	24.300,00
		TOTAL:	376.447,39

Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.4 Valores da instalação com cabos condutores na torre 2

Para o método de distribuição por cabeamento, foram considerados 3 condutores fase e os condutores neutro e terra, quatro caixas MEC-XII que serão instaladas dentro do centro de medição, mais o total de 15 (m) entre o espaço de construção do andar e o QDL do apartamento. As quantidades de cabos de cada secção necessária estão representadas no Quadro 18.

**Quadro 18 – Comprimento dos cabos alimentadores na torre 2**

Trecho	Comprimento (m)	Fase (mm <sup>2</sup> )	Total (m)	Neutro (mm <sup>2</sup> )	Total (m)	Terra (mm <sup>2</sup> )	Total (m)
Desvio C.M. para 1° pav.	58,5	70	351	70	117	35	117
2° Pav.	61,38	70	368,28	70	122,76	35	122,76
3° Pav.	64,26	70	385,56	70	128,52	35	128,52
4° Pav.	67,14	70	402,84	70	134,28	35	134,28
5° Pav.	70,02	70	420,12	70	140,04	35	140,04
6° Pav.	72,9	70	437,4	70	145,8	35	145,8
7° Pav.	75,78	70	454,68	70	151,56	35	151,56
8° Pav.	78,66	70	471,96	70	157,32	35	157,32
9° Pav.	81,54	70	489,24	70	163,08	35	163,08
10° Pav.	84,42	70	506,52	70	168,84	35	168,84
11° Pav.	87,3	95	523,8	95	174,6	50	174,6
12° Pav.	90,18	95	541,08	95	180,36	50	180,36
13° Pav.	93,06	95	558,36	95	186,12	50	186,12
14° Pav.	95,94	95	575,64	95	191,88	50	191,88
15° Pav.	98,82	95	592,92	95	197,64	50	197,64
16° Pav.	101,7	95	610,2	95	203,4	50	203,4
17° Pav.	104,58	95	627,48	95	209,16	50	209,16
18° Pav.	107,46	95	644,76	95	214,92	50	214,92
19° Pav.	110,34	95	662,04	95	220,68	50	220,68
20° Pav.	113,22	120	679,32	120	226,44	70	226,44
21° Pav.	116,1	120	696,6	120	232,2	70	232,2
22° Pav.	118,98	120	713,88	120	237,96	70	237,96
23° Pav.	121,86	120	731,16	120	243,72	70	243,72
24° Pav.	124,74	120	748,44	120	249,48	70	249,48

Fonte: Autoria Própria (2022)

Devido a torre 2 possuir mais apartamentos, foi considerado 1 mês a mais no cálculo do custo da mão de obra (se comparado com a torre 1). Considerou-se que a quantidade de cabos para serem passados e fechamentos para serem realizados é praticamente o dobro dos da torre 1.

O Resumo dos valores está apresentado no Quadro 19.

**Quadro 19 – Resumo de valores da instalação com cabos condutores**

Item	Quantidade (unidade)	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
Caixa MEC-XII (12 medidores)	4 (unidades)	9.159,00	36.636,00
Cabo 35 (mm <sup>2</sup> )	1429,2 (m)	14,75	21.080,70
Cabo 50 (mm <sup>2</sup> )	1778,76 (m)	23,98	42.654,66
Cabo 70 (mm <sup>2</sup> )	6906,6 (m)	33,88	233.995,61
Cabo 95 (mm <sup>2</sup> )	7115,04 (m)	44,07	313.559,81
Cabo 120 (mm <sup>2</sup> )	4759,2 (m)	64,06	304.874,35
Mão de Obra	-	-	58.320,00
		<b>TOTAL:</b>	<b>1.011.121,13</b>

Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.5 Comparativo de custos

Para facilitar a visualização da diferença de valores entre os métodos de distribuição de energia elétrica analisados foi elaborado um resumo dos custos de ambas as soluções, conforme apresentado no Quadro 20.

Calculou-se também o custo da implementação por apartamento, no qual foi considerado o valor total da solução (barramento ou cabeamento) dividido pelo total de 72 unidades consumidoras existentes no projeto.

**Quadro 20: Custo de implementação das soluções analisadas**

Método	Total (R\$)	Valor por Apartamento (R\$)
Barramento Blindado	634.411,99	8.811,28
Cabeamento	1.533.535,16	21.299,10

Fonte: Autoria Própria (2022)

Concluiu-se pelos valores apresentados no Quadro 20, que para o projeto em questão, o método de distribuição de energia utilizando barramento blindado é mais viável, sendo 59% mais econômico que o método tradicional por cabeamento.

#### 5. Considerações Finais

O método de distribuição de energia elétrica por barramento blindado em edifícios de uso coletivo tem apresentado vantagens relevantes para a indústria de construção civil, tanto no que diz respeito aos seus parâmetros técnicos, quanto no que diz respeito às vantagens financeiras. A atratividade do barramento blindado de alumínio frente aos tradicionais cabos condutores de cobre pode ser explicada pela sua instalação facilitada, pelo espaço requerido reduzido, e também pela elevação constante do valor do cobre.

Apesar dos benefícios do uso de barramento blindado, este artigo não descarta a aplicação do sistema por cabeamento, pois cada projeto e empreendimento apresentam suas peculiaridades, que precisam ser entendidas e comparadas para a definição da melhor solução, sendo fatores importantes para esse estudo as distâncias das cargas, suas demandas e quantidades de derivações.

Para trabalhos futuros sugere-se a realização de uma análise comparativa entre as correntes de curto-circuito do barramento blindado e dos cabos condutores. Outro desenvolvimento à ser agregado ao estudo, seria a criação de um método de comparação via software executado em computador, no qual as informações principais de uma determinada edificação são inseridas, e através da aplicação de métodos tais quais apresentados neste trabalho, seja emitido um relatório indicando aos técnicos responsáveis qual o tempo e o custo (entre outras informações) para execução das soluções.

## 6. Referências Bibliográficas

AES ELETROPAULO. **PND-2.4**: determinação da demanda em prédios residenciais e comerciais. São Paulo: ELETROPAULO, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61439-1**: conjunto de manobra e comando de baixa tensão – regras gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61439-2**: conjunto de manobra e comando de baixa tensão – diretrizes para especificação dos conjuntos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61439-6**: conjunto de manobra e comando de baixa tensão – sistema de linhas elétricas pré-fabricadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BUENTE, R. W. **Electrical cable design and applications**. Missouri, 120 p., 1974. Dissertação (Mestrado) – University of Missouri.

CAMARA BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Impactos jurídicos da covid-19 na construção civil**. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Impactos-jur%C3%ADdicos-da-covid-19-na-constru%C3%A7%C3%A3o-civil-junho-2020.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2022.

CUNHA, L. Barramentos blindados. **Revista o Setor Elétrico**, n.41, p. 1-7, 2009.

ENEL BRASIL. **Especificação técnica n. 0126**: Fornecimento de energia elétrica a prédios de múltiplas unidades consumidoras. São Paulo: ENEL, 2022.

FLOY, H. **High-tension underground electric cables**: a practical treatise for engineers. New York: Ed.1, 1909.

ILLINOIS DEPARTMENT OF HEALTH, DIVISION OF ENVIRONMENTAL HEALTH. Municipal Rodent Management. Disponível em: <[http://www.idph.state.il.us/envhealth/pcmunicipal\\_rodents.htm](http://www.idph.state.il.us/envhealth/pcmunicipal_rodents.htm)>. Acesso em: 15 out. 2022.

LONDON METAL EXCHANGE – LME. **Official Prices Graph**. Disponível em: <<https://www.lme.com/en/metals/non-ferrous/lme-copper#Price+graphs>>. Acesso em: 21 set. 2022.

MEGABARRE. Barramento blindado de baixa tensão: série MB 160A – 800A IP54. Jundiaí: Megabarre Group, 2022. Disponível em: < <https://megabarre.com.br/br/mb>>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MOORE, G. F. **Electric cables handbook**. Oxford: Ed.3, 1997.

MOREIRA, B. Barramento blindado é mais um passo para a industrialização da construção civil. **Revista o Setor Elétrico**, n.185, p. 46-47, 2022.

NAMBEI. Informações e Tabelas Técnicas. Disponível em: <<http://www.nambei.com.br/download/tabela-tecnica.pdf>> Acessado em 02 nov. 2022

NOVEMP. **Barramentos blindados com grau de proteção IP55**. Disponível em: <<https://www.novemp.com.br/produto/mbc/>> Acesso em: 23 out. 2022.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IT 009**: compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo: PM SP, 2010.

POTÊNCIA. Sustentabilidade e sistemas prediais. Santo André: n.110, fev. 2015.

PUERTAS, H.; NOGUEIRA, C. A. M. AS DIMENSÕES DA OFERTA. - Sistemas de distribuição de energia elétrica. **Revista do Serviço Público**, v. 43, p. 49-53, 2017. Disponível em: <<https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/1951>>. Acesso em: 5 out. 2022.

ZIMMERMANN, B. L. S. **Características e vantagens da aplicação do barramento blindado em comparação ao sistema de cabeamentos**. Ponta Grossa, 68 p., 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ZUBEN, A. P. B. **Manual de controle integrado de pragas**. Disponível em: <<https://www.campinas.sp.gov.br/sa/impessos/adm/FO086.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2022.

# ANEXO A

## BARRAMENTOS BLINDADOS - CONDUTORES DE ALUMÍNIO NBR-7000-6101 NBR-IEC-61439-1 e 6

Temperatura ambiente máxima / mínima	°C	40/-5	 <small>PNÉIS ELÉTRICOS E BARRAMENTOS BLINDADOS</small>	<a href="http://www.novemp.com.br">www.novemp.com.br</a>
Altitude	m	<2000		
Grau de poluição		3		

### Características Elétricas Nominais

Linha		MBMA					MBCA											
Tensão Nominal	(V)	480					830											
Tensão de Isolação	(V)	630					1000											
Tensão de Impulso	(kV)	6					8											
Frequência	(kV)	60					60											
Corrente Nominal (In)	Horizontal	(A)	250	350	450	550	630	800	1000	1250	1600	1750	2000	2500	3000	3500	4000	
	Vertical	(A)	200	280	360	440	504	800	1000	1250	1600	1750	2000	2500	3000	3500	4000	
Corrente de curta duração (1s)	kA	12	15	17	20	25	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	87	87	87	87		
Corrente de crista	kA	24	30	34	40	52,5	90	90	90	90	90	90	174	174	174	174		
Condutor de proteção	Seção equivalente em cobre(mm²)	164	273	284	295	307	894	940	1018	1096	1151	1197	2036	2191	2302	2394		
	I²t(A²s) a 250°C	8,3E+08	2,3E+09	2,5E+09	2,7E+09	2,9E+09	2,5E+10	2,7E+10	3,2E+10	3,7E+10	4,1E+10	4,4E+10	1,3E+11	1,5E+11	1,6E+11	1,8E+11		
Resistência média por fase	a 20°C	mΩ/m	0,2218	0,1344	0,1093	0,0804	0,0685	0,0732	0,0525	0,0416	0,0348	0,0306	0,0266	0,0214	0,0171	0,0158	0,0132	
	Sob In	mΩ/m	0,2874	0,1767	0,1439	0,1088	0,0898	0,0939	0,0767	0,0578	0,0501	0,0421	0,0355	0,0285	0,0234	0,0224	0,0182	
Reatância média por fase	mΩ/m	0,1651	0,1290	0,1128	0,0952	0,0838	0,0205	0,0168	0,0132	0,0118	0,0118	0,0095	0,0112	0,0074	0,0080	0,0057		
Impedância média por fase sob In	mΩ/m	0,3314	0,2188	0,1828	0,1446	0,1229	0,0961	0,0785	0,0593	0,0514	0,0437	0,0368	0,0306	0,0245	0,0238	0,0191		
Queda de tensão	cos(φ)																	
(V/A/100m) carga concentrada	1	0,0498	0,0306	0,0249	0,0189	0,0156	0,0163	0,0133	0,0100	0,0087	0,0073	0,0061	0,0049	0,0040	0,0039	0,0031		
	0,95	0,0562	0,0360	0,0298	0,0231	0,0193	0,0166	0,0135	0,0102	0,0089	0,0076	0,0064	0,0053	0,0042	0,0041	0,0033		
	0,92	0,0570	0,0369	0,0306	0,0238	0,0200	0,0164	0,0134	0,0101	0,0088	0,0075	0,0063	0,0053	0,0042	0,0041	0,0033		
	0,8	0,0570	0,0379	0,0317	0,0250	0,0212	0,0151	0,0124	0,0094	0,0082	0,0071	0,0059	0,0051	0,0040	0,0039	0,0031		
	Eletropaulo	0,0574	0,0379	0,0317	0,0250	0,0213	<b>0,0167</b>	<b>0,0137</b>	<b>0,0103</b>	<b>0,0089</b>	<b>0,0077</b>	<b>0,0064</b>	<b>0,0053</b>	<b>0,0043</b>	<b>0,0042</b>	<b>0,0035</b>		

### LINHA NT I<sub>n</sub> ≅ 70% In

Corrente nominal 1 (In1)	(A)						315	385	440	560	700	900	1120	1225	1400	1750	2100	2450	2800
Resistência média 1 (R1)	mΩ/m				0,1305	0,0985	0,0821	0,0854	0,0712	0,0557	0,0453	0,0375	0,0317	0,0247	0,0214	0,0194	0,0165		
Impedância 1 média por fase sob In (Z <sub>1</sub> )	mΩ/m				0,17255	0,13699	0,11734	0,0879	0,0731	0,0573	0,0468	0,0393	0,0331	0,0271	0,0226	0,0210	0,0175		
Queda de tensão	cos(φ)																		
(V/A/100m) carga concentrada	1				0,0226	0,0171	0,0142	0,0148	0,0123	0,0096	0,0078	0,0065	0,0055	0,0043	0,0037	0,0034	0,0029		
	0,95				0,0276	0,0214	0,0180	0,0152	0,0126	0,0099	0,0081	0,0068	0,0057	0,0047	0,0039	0,0036	0,0030		
	0,92				0,0285	0,0222	0,0188	0,0150	0,0125	0,0098	0,0080	0,0068	0,0057	0,0047	0,0039	0,0036	0,0030		
	0,8				0,0298	0,0235	0,0201	0,0140	0,0116	0,0091	0,0075	0,0064	0,0054	0,0046	0,0037	0,0035	0,0029		
	Eletropaulo				0,0299	0,0236	0,0202	<b>0,0153</b>	<b>0,0123</b>	<b>0,0099</b>	<b>0,0081</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0057</b>	<b>0,0047</b>	<b>0,0039</b>	<b>0,0037</b>	<b>0,0033</b>		

### LINHA ZNT I<sub>n</sub> ≅ 50% In

Corrente nominal 2 (In2)	(A)						400	500	625	800	900	1000	1250	1500	1750	2000	
Resistência média 2 (R2)	mΩ/m						0,0833	0,0637	0,0516	0,0418	0,0355	0,0297	0,0244	0,0199	0,0182	0,0150	
Impedância 2 média por fase sob In (Z <sub>2</sub> )	mΩ/m						0,0802	0,0659	0,0517	0,0420	0,0360	0,0301	0,0255	0,0199	0,0190	0,0155	
Queda de tensão	cos(φ)																
(V/A/100m) carga concentrada	1						0,0144	0,0118	0,0089	0,0072	0,0062	0,0051	0,0042	0,0034	0,0032	0,0026	
	0,95						0,0148	0,0121	0,0092	0,0075	0,0065	0,0054	0,0046	0,0037	0,0034	0,0028	
	0,92						0,0147	0,0120	0,0091	0,0075	0,0065	0,0054	0,0046	0,0037	0,0034	0,0028	
	0,8						0,0137	0,0112	0,0085	0,0070	0,0061	0,0051	0,0045	0,0035	0,0034	0,0027	
	Eletropaulo						<b>0,0149</b>	<b>0,0121</b>	<b>0,0093</b>	<b>0,0075</b>	<b>0,0066</b>	<b>0,0054</b>	<b>0,0046</b>	<b>0,0036</b>	<b>0,0035</b>	<b>0,0030</b>	
Dimensões (vide verso)	h	mm	68	85	95	110	125	120	140	170	200	220	250	170	200	220	250
	L	mm	184					70					160				
	kg/m (neutro=fase)		7,7	8,9	9,9	11,2	12,3	16,2	18	20,5	23	26	29,5	42,5	47,7	54	61,2