

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES  
CAMPUS PATOS DE MINAS

**CAMILA NAYARA DA SILVA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE PROJETO DE  
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS VISANDO REDUÇÃO  
DE CUSTOS**

Patos de Minas

2018



**CAMILA NAYARA DA SILVA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE PROJETO DE  
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS VISANDO REDUÇÃO  
DE CUSTOS**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, sob a orientação da Prof. Prof. Dr. Júlio Cezar Coelho.

Patos de Minas

2018



**CAMILA NAYARA DA SILVA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE PROJETO DE  
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS VISANDO REDUÇÃO  
DE CUSTOS**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, sob a orientação da Prof. Prof. Dr. Júlio Cezar Coelho.

Aprovado em Patos de Minas em 14 de dezembro de 2018.

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Júlio Cezar Coelho– FEELT/UFU (Orientador)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elise Saraiva – FEELT/UFU

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos - FEELT/UFU



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por sempre incentivarem e investirem em minha formação e por terem mostrado o poder da educação.

Aos meus professores por todo o conhecimento que ajudaram a construir, em especial ao professor Julio César pela disposição e dedicação.

Aos técnicos da Universidade pelo suporte em minha formação.

Aos meus colegas por caminharem comigo, especialmente ao Flavio Lima pela paciência e empenho em ajudar.

A Yasmin, por ser meu farol e a motivação para a minha busca em ser sempre melhor.



## RESUMO

Este trabalho propõe-se a investigar as possibilidades de redução de custos em projetos elétricos residenciais, tanto no que se refere ao custo de execução quanto no posterior gasto energético durante o uso. Para isso, propõe-se a investigar o melhor método de distribuição de condutos pela planta, a fim de reduzir ao máximo o comprimento necessário de condutores, partindo da posição do quadro de energia instalado próximo ao centro de cargas; analisar os principais tipos de lâmpadas disponíveis no mercado visando a escolha das tecnologias de maior eficiência energética; e, ainda, fazer uma breve análise da norma NBR 5410 no que se refere à seção mínima obrigatória dos condutores das redes de iluminação, que, tendo sido planejada para lâmpadas incandescentes, de baixa eficiência e alta demanda de corrente, é provável que superestime a seção transversal dos condutores em sistemas com lâmpadas frias, que requerem menor circulação de corrente. Uma eventual possibilidade de redução na seção transversal dos condutores dos circuitos de iluminação, por si só, reduziria os custos materiais para execução da obra.

Palavras-chave: projetos elétricos residenciais, eficiência energética, redução de custos, NBR 5410, eficiência luminosa.



## **ABSTRACT**

This paper proposes to investigate the possibilities of how reduction of the expenditures in residential, which is not what refers to the cost of exercise as to the subsequent energy expenditure during the use. To do this more efficient method of piping distribution proposed by the plant in order to reduce as much size necessary of the conductors, starting from the position of the energy board in the next floor of loads; the main types of flexibilities in the market available from the main time of energy; also to make a brief analysis of the NBR 5410 standard with regard to the emission of light necessary to conduct the lighting networks, having been planned for incandescent lamps, low efficiency and high current demand, is transversal section the conductors in systems with cars, which lower current. A possibility of a cross-section of the conductors of the lighting circuits by itself can be used for the execution of the work.

Keywords: residential electrical project, efficient energy use, cost reduction, NBR 5410 Brazilian standard, luminous efficacy.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Definição das alturas para cálculo do k.....	32
Figura 2.2 – Lâmpada incandescente comum e seus componentes.....	35
Figura 2.3 – Lâmpada Fluorescente .....	36
Figura 3.1 – Planta do imóvel.....	41
Figura 3.2 – Localização dos pontos de tomadas no imóvel.....	44
Figura 3.3 – Luminária tipo plafon de sobrepor JD MOLINA. ....	45
Figura 3.4 – Distribuição dos pontos de luz pelo ambiente.....	49
Figura 3.5 – Planta com os pontos de carga definidos. ....	50
Figura 3.6 – Localização do quadro de distribuição e dos pontos de carga. ....	53
Figura 3.7 – Distribuição dos condutos pelo método de linha. ....	55
Figura 3.8 – Distribuição dos condutos pelo método de árvores.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Seção mínima de condutores NBR 5410 .....	25
Tabela 2.2 – Seção do condutor Neutro, em relação ao condutor de fase em circuitos trifásicos .....	25
Tabela 2.3 – Seção mínima do condutor de proteção (terra) .....	26
Tabela 2.4 – Fator de correção de temperatura .....	28
Tabela 2.5 – Características da tarefa e do observador .....	30
Tabela 2.6 – Iluminância em lux, por tipo de atividade .....	31
Tabela 2.7 – Índices de reflexão .....	32
Tabela 2.8 – Eficiência do recinto .....	33
Tabela 2.9 – Eficiência aproximada de luminárias .....	33
Tabela 2.10 – Fatores de Manutenção Recomendados .....	33
Tabela 3.1 – Comparação da eficiência luminosa dos diferentes tipos de lâmpadas .....	40
Tabela 3.2 – Resumo dos pontos de tomada de uso geral na residência .....	43
Tabela 3.3 – Resumo dos pontos de tomadas de uso específico na residência .....	43
Tabela 3.4 – Coordenadas dos pontos de carga da residência .....	51
Tabela 3.5 – Resumo das cargas na instalação .....	57
Tabela 3.6 – Seção mínima dos condutores para os circuitos, conforme NBR 5410 .....	57
Tabela 3.7 – Resumo dos cálculos da capacidade de condução de corrente dos circuitos .....	59
Tabela 3.8 – Resumo dos cálculos da seção mínima para uma queda de tensão igual ou inferior ao limite de 4% da tensão nominal .....	61
Tabela 3.9 – Seção transversal dos condutores a serem usados .....	61
Tabela 4.1 – Características das lâmpadas que serão comparadas .....	63
Tabela 4.2 – Custos totais com iluminação ao longo de cinco anos usando diferentes tipos de lâmpadas .....	65
Tabela 4.3 – Preço dos condutores usados no projeto .....	67
Tabela 4.5 – Comprimento e custo dos condutores na distribuição em linha .....	67
Tabela 4.5 – Comprimento e custo dos condutores na distribuição em árvore .....	68
Tabela 6.1 – Comparação dos gastos com aquisição inicial de lâmpadas .....	73
Tabela 6.2 – Comparação dos gastos com energia elétrica ao longo de cinco anos .....	73
Tabela 6.3 – Comparação dos gastos ao longo de cinco anos, considerando energia, manutenção e investimento inicial com lâmpadas .....	74
Tabela 6.4 – Comparação do custo material com as diferentes metodologias de distribuição dos condutores .....	74
Tabela 6.5 – Comparação de custos usado fiação de 1mm <sup>2</sup> e 1,5 mm <sup>2</sup> .....	75

# SUMÁRIO

CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	17
1.1. Introdução .....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivos específicos.....	18
1.3. Justificativa .....	18
1.4. A estrutura deste trabalho .....	19
CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
2.1. Considerações Iniciais .....	20
2.2. Instalações elétricas de baixa tensão.....	20
2.3. A rede elétrica interna.....	21
2.3.1. O quadro de distribuição e sua localização .....	22
2.3.2. Percurso dos condutores.....	23
2.3.3. Dimensionamento de condutores .....	24
2.3.4. Outras considerações da NBR 5410.....	29
2.3.5. Sistema de iluminação.....	30
2.3.6. O cálculo luminotécnico .....	31
2.4. Tipos de lâmpadas .....	34
2.4.1. Lâmpadas incandescentes e halógenas .....	35
2.4.2. Lâmpadas fluorescentes.....	36
2.4.3. Lâmpadas LED.....	36
2.5. A NBR 5410 e os circuitos de iluminação.....	37
2.6. Considerações Finais .....	38
CAPÍTULO III – PROJETO E CÁLCULOS.....	40
3.1. Considerações Iniciais .....	40
3.2. Definição dos pontos de tomada.....	42
3.2.1. Cálculos.....	42
3.2.2. Distribuição dos pontos de tomada .....	43
3.3. O cálculo luminotécnico .....	43
3.3.1. Cozinha.....	45
3.3.2. Sala de jantar .....	46
3.3.3. Sala de estar.....	47
3.3.4. Dormitório.....	47

3.3.5. Banheiro.....	47
3.3.6. <i>Hall</i> de entrada.....	48
3.3.7. Distribuição das luminárias .....	48
3.4. Definição do ponto de instalação do quadro de distribuição.....	48
3.5. Divisão dos circuitos .....	54
3.6. Definição das rotas dos condutores .....	54
3.6.1. Método de linha .....	54
3.6.2. Método de árvores .....	54
3.7. Dimensionamento dos condutores.....	57
3.7.1. Seção mínima.....	57
3.7.2. Capacidade de corrente.....	58
3.7.3 – Queda de tensão .....	59
3.7.4. Dimensionamento final.....	61
3.8. Considerações finais.....	62
CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE CUSTOS .....	63
4.1. Considerações Iniciais.....	63
4.2. Resultado dos cálculos luminotécnicos aplicados em lâmpadas Incandescentes, halógenas, LED e Fluorescentes. ....	63
4.2.1. Incandescente.....	64
4.2.2. Halógena .....	65
4.2.3. Fluorescente.....	65
4.2.4. LED.....	65
4.2.5. Custo total com iluminação a longo prazo .....	65
4.3. Quantidade de condutores e seus custos.....	66
4.3.1. Linha .....	67
4.3.2. Árvore.....	67
4.4. Considerações Finais.....	68
CAPÍTULO V – A NORMA NBR 5410 E AS LÂMPADAS MODERNAS .....	69
5.1. Considerações iniciais .....	69
5.2. A norma atual .....	69
5.3. A hipótese.....	69
5.4. As dificuldades e as possíveis soluções .....	70
5.5. As propriedades elétricas dos condutores de baixa seção .....	71
5.6. As lâmpadas modernas.....	71
5.7. Considerações finais.....	72

CAPÍTULO VI – RESULTADOS E CONCLUSÕES .....	73
6.1. Considerações iniciais.....	73
6.2. O custo com iluminação .....	73
6.3. O custo com condutores.....	74
6.4. Custo com condutores para iluminação numa eventual atualização da norma.....	74
6.5. Sugestões para trabalhos futuros.....	75
6.6. Considerações finais .....	75
REFERÊNCIAS .....	77
ANEXO I.....	79
ANEXO II .....	80



## **CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

### **1.1. Introdução**

Um projeto de instalações elétricas é a definição de que forma a energia elétrica será conduzida da rede de distribuição da concessionária até as edificações ou residências. Abrange também todos os outros aspectos envolvidos, desde seleção de materiais e dimensionamento até a localização de circuitos, equipamentos e componentes elétricos [1] [2].

O projeto de instalações elétricas garante segurança para a edificação e os usuários, visto que um mau projeto pode trazer riscos de incêndio, de queima de equipamentos, riscos de choques elétricos, perda de conforto e qualidade de vida dos usuários, dentre outras. Por isso é de extrema importância que seja bem elaborado [3] [4].

Para a elaboração de um projeto de instalações elétricas de baixa tensão é necessária a utilização de normas vigentes que estipula as condições adequadas para seu funcionamento. A Norma Brasileira NBR 5410 [2], estabelece as condições mínimas necessárias para o perfeito funcionamento de uma instalação elétrica de baixa tensão, garantindo assim a segurança de pessoas, animais e bens materiais e o correto funcionamento e durabilidade dos equipamentos conectados à rede. Além, claro, da padronização que facilita modificações e manutenções futuras nas instalações e uma simbologia única na documentação.

Um bom projeto de instalações elétricas pode reduzir parte significativa do custo total de um empreendimento. Para isso, a otimização de processos é necessária para diminuir ou eliminar desperdícios de tempo e recursos materiais [3] [4].

A proposta deste trabalho será contribuir para o tema da otimização de projetos elétricos residenciais, realizando alguns estudos comparativos que visam elucidar quais metodologias ou materiais que podem reduzir os custos de execução do projeto, sem comprometer sua funcionalidade e segurança.

### **1.2. Objetivos**

Este trabalho propõe-se a investigar métodos que possam ser aplicados num projeto elétrico residencial visando a redução de custos de execução e de gasto energético, por meio da comparação de metodologias de distribuição e percurso de condutores e da comparação da eficiência energética das principais lâmpadas usadas em residências. Em adição e em consequência desse estudo, propõe-se a investigar, também, se a norma técnica vigente não está obsoleta no que se refere a dimensionamento de circuitos de iluminação.

### 1.2.1. Objetivos específicos

- Comparar as duas principais metodologias usadas para definir o percurso de condutos e condutores numa instalação predial residencial;
- Apresentar uma metodologia usada para a definição do melhor lugar do quadro de distribuição;
- Comparar as previsões de consumo energético da planta com iluminação, quando usados diferentes tipos de lâmpadas;
- Realizar uma breve investigação acerca da norma NBR 5410, tomando como base a hipótese de que a norma está obsoleta no que se refere ao dimensionamento dos circuitos de iluminação;
- Se confirmada a hipótese acima, apresentar as vantagens de uma atualização da norma.

### 1.3. Justificativa

Um projeto elétrico é de extrema importância para uma instalação elétrica bem-sucedida, sobretudo levando em conta segurança, funcionalidade, facilidade para manutenções futuras e como norteador para a execução do projeto [1] [3] [4].

É nele que se encontra a planta baixa que especifica a distribuição elétrica geral, indicando a colocação dos eletrodutos e condutores, com a designada seção transversal, posicionamento de luminárias, tomadas e interruptores, caixas/ quadros de distribuição (QDG, QDL, etc.), disjuntores e dispositivos de proteção do sistema elétrico [1].

Um aspecto importante do projeto elétrico é a garantia de um nível de luminosidade adequado, que possua uma distribuição mais homogênea em cada ambiente e atenda às necessidades daquele ambiente específico no que se refere a intensidade luminosa, reprodução de cores, efeitos psicológicos da luz, etc. Além disso, o projeto bem executado pode viabilizar uma economia ao permitir somente a compra dos componentes certos e em quantidade exata, podendo, ainda, interferir no futuro consumo de energia, quando há uma preocupação com a eficiência: o dimensionamento adequado ainda evita o desperdício energético causado pelo efeito Joule em condutores subdimensionados e lâmpadas com maior eficiência (luminosidade emitida por potência consumida) diminuem o consumo energético com iluminação [1] [3] [4].

Um projeto de instalação elétrica otimizado ainda previne uma série de problemas, desde os menores, como a falta de tomadas suficientes, até os maiores desastres, como incêndios, passando por fugas de energia que aumentam o consumo da energia, oscilações de tensão na rede, desbalanceamento excessivo de fases, etc. [1].

Assim sendo, um estudo acerca das metodologias disponíveis para projeto, visando estipular qual é capaz de gerar uma maior economia na execução e na manutenção, é importante para a Engenharia Elétrica, para a formação profissional do engenheiro, e também de importância social e econômica.

#### **1.4. A estrutura deste trabalho**

Para alcançar os objetivos propostos, além do presente capítulo, este trabalho é estruturado da seguinte forma:

##### **Capítulo II – Referencial teórico**

Tem como objetivo apresentar conceitos básicos de instalações elétricas residenciais, como as principais recomendações da NBR5410, e o cálculo luminotécnico, bem como os requisitos de iluminação.

##### **Capítulo III – Projeto e cálculos**

Neste capítulo é apresentada a planta baixa do imóvel tomado como base para a elaboração do projeto elétrico, que visa redução de custos. A seguir, são feitos os dimensionamentos de partes do sistema elétrico, a partir da teoria do Capítulo II.

##### **Capítulo IV – Comparação de resultados**

Objetiva realizar um comparativo entre as técnicas e componentes propostos, a fim de determinar a economia que oferecem.

##### **Capítulo V – A norma NBR5410 e as lâmpadas modernas**

Neste capítulo será investigado, de maneira breve, a pertinência ou não de uma atualização da norma no que se refere aos requisitos mínimos de seção dos condutores dos circuitos de iluminação.

##### **Capítulo VI – Resultados e conclusões**

Objetiva revelar os resultados obtidos, discuti-los e dar sugestões de trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Considerações Iniciais**

Para a fundamentação teórica, foram utilizados livros, artigos científicos, monografias e teses de doutorados, além de entrevistas com profissionais da área, todas com o intuito de obter informações sólidas e contundentes a respeito do tema abordado. Sobre os projetos de instalações elétricas, foi utilizado, sobretudo, o livro de Hélio Creder, de 2004, [1] que forneceu informações importantes sobre a composição básica de um projeto elétrico. Também foi bastante utilizada a dissertação de Maria Leon, de 2016, [3] cujo enfoque é a eficiência em instalações elétricas residenciais considerando o novo ambiente de consumo. Usando essa dissertação, é possível observar o novo cenário de consumo energético residencial, podendo tirar conclusões fundamentadas a respeito de consumo e eficiência. Foram consultadas também as principais normas vigentes relacionadas ao tema, como a NBR – 5410, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT [2]. Esta norma estabelece padrões que devem ser seguidos nas instalações elétricas de baixa tensão.

Outros artigos e normas vigentes foram utilizadas como complementação bibliográfica e a partir deles se pode fundamentar a teoria para projetos elétricos otimizados.

### **2.2. Instalações elétricas de baixa tensão**

Com o consumo de energia elétrica crescente no decorrer dos anos – movido pelo aumento do poder de compra e das inovações tecnológicas que fizeram da eletricidade a principal e mais versátil modalidade de energia – houve a necessidade de se pensar na sustentabilidade da produção e oferta de eletricidade, em níveis nacionais e internacionais [2]. Os desafios são inúmeros. Cada vez mais se busca maneiras para suprir essa necessidade energética sem, no entanto, impactar de modo exagerado e insustentável os recursos naturais. Por outro lado, existe também a necessidade de se manter o custo num nível democrático, que não impeça os mais pobres de usufruírem. Dessa forma, projetos elétricos otimizados são de grande valia para todo o sistema elétrico, uma vez que reduz as perdas e garante que não haja um consumo maior que o necessário. Além disso, ainda garante que os recursos minerais (metais e petróleo) usados em componentes e fiação também não sejam desperdiçados [4] [5].

Tendo em vista a necessidade de um sistema elétrico confiável, se torna necessária a diminuição das perdas energéticas e o aumento da segurança e eficiência [3]. Assim sendo, é de importância social e econômica que a planta tenha a maior durabilidade e eficiência possíveis. E para atingir este objetivo, um projeto de instalações elétricas racional é de extrema

importância. A Norma Brasileira NBR 5410 [2] é quem estabelece as condições mínimas necessárias para o perfeito funcionamento de uma instalação elétrica de baixa tensão garantindo assim a segurança de pessoas e animais e a preservação dos bens, além de definir um padrão que facilita obras futuras na rede [2] [6].

Apesar dessa importância, a utilização de projetos elétricos é frequentemente negligenciada no dia a dia da construção civil, já que os procedimentos recomendados – que tendem a interferir negativamente na velocidade de execução da obra e no aumento dos custos monetários – não são percebidos por leigos como essenciais para a execução e a segurança [4]. Por um lado, a autoconstrução abdica de qualquer projeto elétrico, cuja execução acaba sendo feita com pouco ou nenhum critério. De outro, é comum que o Engenheiro Civil assuma o papel de projetista eletricitista para cargas mais baixas, o que é permitido pela lei [4]. Porém, normalmente a preocupação do Engenheiro Civil resume-se, quando muito, simplesmente em seguir a norma técnica vigente, o que nem sempre é capaz de garantir os melhores resultados em termos de otimização do projeto elétrico.

No entanto, um projeto otimizado pode trazer muitos benefícios a curto e longo prazo, sendo de grande valia em termos de segurança e satisfação do usuário. Em sistemas elétricos de potência, conhecer o comportamento futuro das cargas elétricas é essencial para a tomada de decisões. Ter em vista a previsão de cargas elétricas é fundamental a longo, médio e curto prazo, sendo isso indispensável para uma vida útil prolongada da instalação. [5]

A norma vigente para instalações elétricas de baixa tensão é a Norma NBR – 5410 [2], criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/NOS) e das Comissões de Estudos Especiais dos setores envolvidos. É a partir dessa norma que se estabelece condições que possam garantir segurança, funcionamento adequado da instalação e a conservação de bens [3].

Tal norma será usada como referência para o dimensionamento de toda a instalação elétrica usada como exemplo nesse trabalho, exceto quando explicitamente for dito o contrário.

### **2.3. A rede elétrica interna**

Uma instalação elétrica residencial consiste, basicamente, numa rede de condutores que percorrem o imóvel por paredes, tetos e chão levando eletricidade aos pontos de uso: pontos de iluminação e tomadas de uso geral ou de uso específico.

Um ponto chave na elaboração de um projeto elétrico consiste justamente em definir os caminhos desses condutores pelo imóvel, sendo desejável que o comprimento dos condutores seja o menor possível – o que reduz custos e diminui as perdas ôhmicas [1] [2].

Nesse ponto, o que pode ser feito é escolher uma metodologia de distribuição que promova essa redução de comprimento, sem, no entanto, contrariar a NBR5410. Outro ponto importante é definir o ponto da planta onde o quadro de distribuição deverá ser instalado, pois sua posição interfere diretamente nos resultados obtidos, independente da metodologia de distribuição usada. Portanto, cada planta terá seu ponto ótimo para a localização do quadro.

### **2.3.1. O quadro de distribuição e sua localização**

O quadro de distribuição (QD) tem como função distribuir a energia vinda da rede pública para dispositivos e equipamentos em uma edificação. É nele que se encontra instalados dispositivos de proteção, de manobra e comando. É a partir dele, também, que se realiza a divisão dos circuitos. Cada circuito deve ser concebido de forma a ser seccionado sem risco de realimentação inadvertida. Sua localização depende de vários fatores, sendo bastante comum o uso de uma metodologia que consiste em colocá-lo o mais próximo possível do ponto de entrada e medição da energia, de modo a reduzir ao máximo o comprimento dos cabos primários, que têm o maior calibre e, portanto, são os mais caros. Outra metodologia, defendida por [7] consiste em determinar um centro de carga no imóvel e inserir o quadro o mais próximo possível deste ponto ideal:

O processo para localização do centro de carga é definido pelo cálculo do baricentro dos pontos considerados como de carga puntiforme e correspondentes a potência demandada de cada ponto de utilização de energia com suas respectivas distâncias a origem do plano tomado como referência.

A Norma NBR5410 é bem explícita no que se refere a localização do quadro de distribuição necessitar ser num local de fácil acesso. Assim sendo, descarta-se de imediato a instalação do QD em quartos, suítes e banheiros, por serem locais que podem estar trancados. Deve-se optar, portanto, por áreas de uso coletivo e que normalmente não são trancadas, como cozinhas, salas de estar ou jantar, halls, corredores ou lavanderia.

Uma escolha racional e mais ou menos intuitiva seria escolher um ponto, num dos cômodos permitidos, que fosse o mais próximo possível dos pontos de maior carga (como banheiros, onde há chuveiros elétricos que são, em regra, cargas de potência elevada; ou pontos de ar condicionado ou torneiras elétricas) e/ou o mais próximo possível do quadro de medição (ou quando for o caso, do outro quadro de distribuição que o precede), de modo a reduzir o

comprimento dos condutores de maior seção transversal, que são também mais caros e volumosos [1] [7].

Uma opção matemática é a determinação do já citado baricentro de cargas elétricas. Nessa metodologia, coloca-se a planta baixa já com os pontos terminais (luminárias e tomadas de uso geral e específico) definidos sobre um plano cartesiano e com base nos pontos de cada carga (que estará no plano em uma coordenada (x,y)) e em sua potência, define-se as coordenadas do baricentro, que é um ponto ideal, usando as equações 1 e 2:

$$X = \frac{X1 * P1 + X2 * P2 + X3 * P3 + \dots + Xn * Pn}{(P1 + P2 + P3 + \dots + Pn)} \quad (1)$$

$$Y = \frac{Y1 * P1 + Y2 * P2 + Y3 * P3 + \dots + Yn * Pn}{(P1 + P2 + P3 + \dots + Pn)} \quad (2)$$

Determinadas as coordenadas desse ponto ótimo, insere-se o QD o mais próximo possível dele, sem no entanto desprezar a recomendação acima de evitar áreas privativas e banheiros ou outras limitações estéticas ou funcionais que possam existir [7].

### 2.3.2. Percurso dos condutores

Na instalação, os condutores geralmente passam dentro de condutos e/ou canaletas, que podem estar embutidos nas paredes e tetos ou serem aparentes. Em alguns casos a NBR5410 também permite condutores aparentes fixados por isoladores ou cabos aparentes fixados diretamente no teto ou em paredes (nesse último caso, com espaçamento) [2].

A rede de condutores, que passam ou não por condutos e canaletas, deve constar na planta elétrica. Seus percursos devem ser planejados de modo a atender todos os pontos de utilização (mantendo o cuidado, quando for o caso, de permitir a interconexão entre pontos de um mesmo circuito) [1] [2].

Há duas metodologias de distribuição dos condutos que comumente são usadas nas instalações, distribuição por linha e distribuição por árvore. É importante observar, porém, que ambas são, para efeitos práticos, mistas. Isto é, nenhuma das duas usa uma metodologia pura, devido à dificuldade de execução ou baixo rendimento que isso ocasionaria. Desse modo, no método linha há alguns pontos de redistribuição que se assemelha à árvore, assim como no método das árvores determinados braços se prolongam de maneira análoga à linha. O que há, portanto, é uma prevalência de uma ou outra metodologia, cuja escolha é critério do projetista.

Na distribuição por linha, os pontos de carga (luminárias e tomadas) são percorridos por um conduto que vai dando voltas de modo a passar por todos os pontos. Comumente o conduto que sai do quadro de distribuição percorre as luminárias do teto de modo sequencial, e delas, quando pertinente, saem outros braços para atender a pontos de carga nas paredes.

Na distribuição por árvore, os condutos se ramificam a partir de algum ponto, de modo semelhante aos galhos de uma árvore. Um braço proveniente do quadro de distribuição se ramifica em outros braços em alguma caixa (de tomada ou luminária) da instalação, e esses braços resultantes, às vezes, também se ramificam novamente.

### **2.3.3. Dimensionamento de condutores**

O dimensionamento dos circuitos baseia-se na aplicação das diversas prescrições da Norma NBR5410 [2], para os fins da escolha da seção de um condutor e do seu respectivo dispositivo de proteção. Cálculos são feitos para que o condutor esteja devidamente dimensionado conforme as cargas que devem ser alimentadas. Assim, valores de seção diferentes dos disponíveis comercialmente podem ser encontrados. Nesse caso utiliza-se a tabela que consta a capacidade de condutores comerciais cuja seção mais se aproxima do valor calculado através dos cálculos.

São três os critérios técnicos para dimensionamento dos condutores[2], a saber:

1. Seção mínima;
2. Capacidade de condução de corrente;
3. Queda de tensão;

#### **2.3.3.1. Seção mínima**

A seção de um condutor necessita obedecer a condições mínimas em um circuito, para que este seja adequado e seguro. O cálculo da seção nominal de um condutor é a área da seção transversal do fio ou da soma das seções dos fios componentes de um cabo.

A menor seção de um condutor deve obedecer às condições mínimas de utilização adequada para o circuito e também as condições de segurança, prescritas pela NBR 5410, conforme indicado pela Quadro 2.1. Esta é a seção mínima por norma, mesmo que os cálculos apontem a possibilidade de usar condutores mais finos, isso não poderá ser feito. No entanto, os cálculos devem ser respeitados no caso de indicarem a necessidade de condutores mais grossos, que devem ser usados.

Quadro 2.1 – Seção mínima de condutores NBR 5410

Tipo de instalação		Utilização do Circuito	Seção mínima do condutor (mm <sup>2</sup> ) - Material
Instalação fixas Em geral	Cabos isolados	Circuito de Iluminação	1,5Cu 16 Al
		Circuito de força	2,5 Cu 16 Al
		Circuito de sinalização e controle	0,5 Cu
	Condutores nus	Circuitos de Força	10 Cu 16 Al
		Circuito de sinalização e controle	4 Cu
Ligações flexíveis feitas com cabos isolados		Para equipamento específico	Como especificado na Norma
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu
		Para circuitos a extra baixa tensão – aplicações especiais.	0,75 Cu

Fonte: NBR 5410.

O condutor neutro deve possuir a mesma seção que os condutores de fase existentes, quando nos seguintes casos [2]:

- Circuitos monofásicos e bifásicos, qualquer que seja a seção;
- Quando a seção do condutor fase for  $\leq 25\text{mm}^2$  em cobre e alumínio de circuitos trifásicos;
- Quando for prevista a presença de terceiros harmônicos e seus múltiplos cujas taxas somadas estejam entre 15 e 33%, qualquer que seja a tensão em circuitos trifásicos.

Já a tabela 2.2, por sua vez, é aplicada em circuitos trifásicos, presumivelmente equilibrados, que não contiverem uma taxa de terceira harmônica e múltiplos superior a 15%:

Tabela 2.2 – Seção do condutor Neutro, em relação ao condutor de fase em circuitos trifásicos

Seção dos condutores – fase (mm <sup>2</sup> )	Seção mínima do condutor neutro (mm <sup>2</sup> )
S $\leq$ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

Fonte: NBR 5410.

Já para os condutores de proteção (aterramento ou condutor “terra”), em qualquer situação deve-se considerar os parâmetros dados pela Tabela 2.3, que especifica o valor mínimo da seção do condutor em relação à seção dos condutores de fase.

*Tabela 2.3 – Seção mínima do condutor de proteção (terra)*

Seção dos condutores de fase (mm <sup>2</sup> )	Seção mínima do condutor de proteção em (mm <sup>2</sup> )
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

*Fonte: NBR 5410.*

### **2.3.3.2. Queda de tensão**

A norma estipula a queda de tensão máxima que pode ocorrer no circuito, a partir do ponto de entrega [2]:

Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio

Já nos circuitos terminais (que saem do quadro de distribuição até os pontos de utilização), [2] diz: “Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%”.

Ou seja, caso a queda de tensão for maior que esses limites (o que ocorre sobretudo em circuitos com condutores de grande comprimento), é necessário incrementar a seção do condutor, de modo a reduzir essa queda de tensão (leis de Ohm).

### **2.3.3.3. Capacidade de condução de corrente**

Um condutor metálico tem a capacidade de conduzir uma quantidade limitada de corrente sem que se aqueça de modo exagerado e provoque uma perda significativa de energia por efeito Joule. Essa capacidade depende diretamente das seção do condutor, inversamente do comprimento, e também do material. A corrente a circular por um circuito dependerá da

potência dos equipamentos ligadas a ele e da tensão de trabalho, sendo denominada de corrente de projeto.

A partir da corrente é possível calcular a seção necessária de um condutor. A corrente de projeto é definida por meio da equação 3 ou 4, a depender se o circuito é monofásico ou trifásico.

Monofásico:

$$I_B = \frac{P}{V \cdot FP} = \frac{S}{V} \quad (3)$$

Onde:  $I_B$  representa a corrente do projeto, em ampère;  $P$  a potência ativa total do circuito, em Watt;  $v$  a tensão do circuito (tensão de fase, caso de monofásico e tensão de linha, caso bifásico), em Volt;  $FP$  o fator de potência do circuito e  $S$  a potência aparente total do circuito, em Volt-Ampère.

Trifásico:

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3}V \cdot FP} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \quad (4)$$

Onde  $V$  é a tensão de linha.

A NBR 5410 [2] tem um longo trecho (Seção 6.2.5, p. 98) a respeito da capacidade de corrente dos condutores, com diversas tabelas estipulando essa capacidade em função do material de fabricação do condutor e isolante, bem como do tipo de instalação (ar livre, embutida, etc.) e tipo de estrutura (madeira, parede isolada termicamente, etc.). Escrutinar e reproduzir novamente essas tabelas foge do objetivo deste trabalho.

Como no presente trabalho foi definido que a instalação far-se-á em eletrodutos circulares embutidos nas paredes, que são de alvenaria, a NBR 5410 [2, p. 90] determina que o método de referência a ser usado é B1. O Anexo I traz a capacidade de corrente para condutores com isolamento em PVC para alguns dos métodos de referência, incluindo B1.

#### **2.3.3.4. Fatores de correção aplicados na determinação da capacidade de corrente**

A corrente de projeto encontrada na seção anterior não leva em consideração alguns fatores como temperatura e agrupamento dos condutores[2]. Assim se faz necessário usar índices de correção, que a própria NBR 5410 estipula.

Os valores de correção de temperatura são tabelados e dependem do isolante e do ambiente, como mostra a Tabela 2.4:

*Tabela 2.4 – Fator de correção de temperatura.*

Temperatura °C	Isolação			
	PVC	EPR ou XLPE	PVC	EPR ou XLPE
	Ambiente		Do Solo	
10	1,22	1,15	1,10	1,07
15	1,17	1,12	1,05	1,04
20	1,12	1,08	1,00	1,00
25	1,06	1,04	0,95	0,96
30	1,00	1,00	0,89	0,93
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85
45	0,79	0,87	0,71	0,80
50	0,71	0,82	0,62	0,76
55	0,61	0,76	0,55	0,71
60	0,50	0,71	0,45	0,65
65	-	0,65	-	0,60
70	-	0,58	-	0,53
75	-	0,50	-	0,46
80	-	0,41	-	0,38

*Fonte: NBR5410.*

A norma também estipula um fator de correção para os casos em que os condutores estão enterrados e a resistividade térmica do solo é muito alta. Para detalhes, consultar a referência [2] (p. 107). Tal situação não ocorre no exemplo deste trabalho, onde não há condutores enterrados.

Por fim, é necessário usar um índice de correção de leva em consideração o agrupamento dos condutores. O índice varia em função da forma de agrupamento e do número de circuitos. Caso enterrados no solo ou em mais de uma camada de condutores, há índices de correção específicos. Consultar a referência [2] (Seção 6.2.5.5, p. 107). A Tabela também está disponível no Anexo II deste documento.

#### 2.3.4. Outras considerações da NBR 5410

A norma NBR 5410 estabelece os seguintes critérios para a previsão do número mínimo de tomadas de uso geral (TUG's):

- Cômodos ou dependências com área igual ou inferior 6 m<sup>2</sup> prever no mínimo um ponto de tomada;
- Nas salas e dormitórios independe da área e cômodos ou dependências com mais de 6 m<sup>2</sup>, prever no mínimo um ponto de tomada para cada 5 metros ou fração de perímetro, espaçadas tão uniformemente quanto possível;
- Nas cozinhas, copas, copas-cozinhas, área de serviço, lavanderias e locais semelhantes: prever uma tomada para cada 3,5 metro ou fração do perímetro, independente da área, e sobre o balcão da pia prever no mínimo duas tomadas;
- Halls, corredores, subsolos, garagens, sótãos e varandas, pelo menos 1 tomada.
- Nos banheiros deve prever no mínimo um ponto de tomada junto ao lavatório com uma distância mínima de 60 cm do boxe.

A norma também estabelece critérios para a potência mínima de pontos de tomadas de uso geral:

- Nos banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, área de serviço, lavandeira e locais semelhantes: Deve se prever o mínimo de 600 Volt-Ampere por ponto de tomada, até 3 tomadas. Atribuir 100 Volt-Ampere para os pontos excedentes.
- Nos demais cômodos pode ser prevista a potência de no mínimo 100 Volt-Ampere por ponto de tomada.

Condições para se estabelecer a quantidade de pontos de tomadas de uso específico (TUE's):

- Devem obrigatoriamente possuir circuitos exclusivos todos os equipamentos que solicitam corrente igual ou superior a 10 Amperes, e os circuitos terminais que alimentam equipamentos de força motriz, como por exemplo, os aparelhos de ar-condicionado.

Para estabelecer a potência de pontos de tomadas de uso específico, deve-se atribuir a potência nominal do equipamento a ser alimentado.

### 2.3.5. Sistema de iluminação

Para a elaboração de um projeto de iluminação é preciso analisar características técnicas do ambiente a ser observado a fim de se garantir desempenho e eficácia do iluminamento [5] [8].

Fatores como dimensões do ambiente, cores das superfícies e as atividades a serem desenvolvidas, tal como o tipo de observador são fatores importantes para o dimensionamento adequado da iluminação [5] [8] [9].

Características e especificações técnicas dos dispositivos a serem utilizados como, tipo de lâmpada, potência, eficiência, quantidade e localização são fatores importantes a serem considerados para que o projeto tenha qualidade no iluminamento [5].

Os níveis mínimo de iluminação que cada ambiente deve possuir estando iluminado apenas por métodos artificiais é regido pela norma NBR5413 [9]. Tais parâmetros dependem, também, do tipo de atividade a ser desenvolvida e das características dos usuários, conforme quadro 2.5.

*Quadro 2.5 – Características da tarefa e do observador*

<i>Características da tarefa e do observador</i>	<i>Peso</i>		
	<i>-1</i>	<i>0</i>	<i>1</i>
<i>Idade</i>	<i>Inferior a 40 anos</i>	<i>40 a 55 anos</i>	<i>Superior a 55 anos</i>
<i>Velocidade e Precisão</i>	<i>Sem importância</i>	<i>Importante</i>	<i>Crítica</i>
<i>Refletância do fundo da tarefa</i>	<i>Superior a 70%</i>	<i>30 a 70%</i>	<i>Inferior a 30%</i>

*Fonte: NBR 5413.*

As características de cada tarefa e do observador determinam a iluminância adequada e são analisadas por pesos, podendo ser -1, 0 ou 1.

Somando os três valores é usado o critério de pesos.

Os cálculos são feitos da seguinte maneira:

Igual a **-2 ou -3**, é considerado **inferior**;

Igual a **+2 ou +3**, é considerado iluminância **superior**;

Nos **outros casos**, é considerado iluminância **média** e com base no resultado consulta-se a tabela de **iluminância** em Lux, à seguir:

Tabela 2.6 – Iluminância em lux, por tipo de atividade.

<b>Residência</b>	Inferior	Médio	Superior
<b>Sala de estar</b>			
- geral	100	150	200
- local (leitura, escrita, etc.)	300	500	750
<b>Cozinhas</b>			
- geral	100	150	200
- local (fogão, pia, mesa)	200	300	500
<b>Quartos de dormir</b>			
- geral	100	150	200
- local (espelho, penteadeira, cama)	200	300	500

Fonte: NBR 5413.

### 2.3.6. O cálculo luminotécnico

A fim de respeitar os níveis de iluminação definidos pela norma, é preciso realizar o cálculo luminotécnico, que depende de várias variáveis, como eficiência das luminárias, fluxo luminoso das lâmpadas, limpeza, cores das paredes, teto e chão, etc. [8].

O método dos lumens, que será a metodologia de cálculo usada nesse trabalho, é o método mais usado e foi definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE). Nele, considera-se a quantidade de total de fluxo luminoso baseada no tipo de atividade desenvolvida para determinado ambiente, sendo possível determinar a iluminância, em qualquer ponto da superfície, utilizando cálculos que levam em conta as refletâncias das superfícies [10].

A princípio é preciso fazer um levantamento das características da instalação, observando a dimensão dos ambientes e a classificação conforme a norma ABNT NBR 5413 [9]. É importante também observar a refletância das superfícies, frequência de manutenção e condições de limpeza do ambiente, pois o fator de manutenção (FM) ou fator de perdas luminosas (FPL) são estipulados a partir disso [10].

Para o cálculo do Índice local (k), são utilizadas duas fórmulas, sendo uma para iluminação direta e outra para iluminação indireta [10].

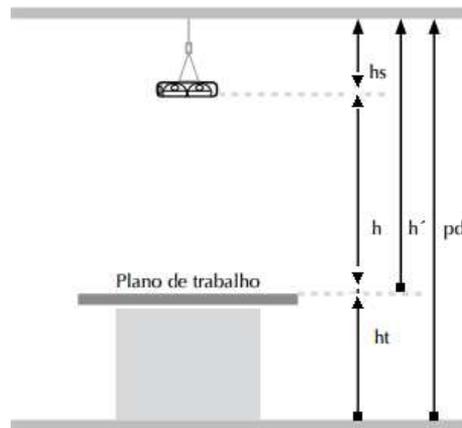
$$k_{direta} = \frac{c \times l}{h \times (c+l)} \quad (5)$$

$$k_{indireta} = \frac{c \times l}{h' \times (c+l)} \quad (6)$$

Onde:  $c$  = comprimento do ambiente;  $l$  = largura do ambiente;  $h$  = altura de montagem;  $h'$  = distância do teto ao plano de trabalho;  $pd$  = pé-direito;  $hs$  = altura de suspensão da luminária;  $ht$  = altura do plano de trabalho.

A figura 2.1 ilustra a definição das alturas para o cálculo do Índice do local ( $k$ ).

Figura 2.1 – Definição das alturas para cálculo do  $k$ .



Fonte [10]

Uma vez feito o cálculo do índice local, é preciso que se defina tanto os equipamentos quanto as características fotométricas das luminárias (curva de distribuição de intensidade luminosa), desempenho das lâmpadas (eficiência luminosa, fluxo luminoso, vida útil, depreciação luminosa) e características elétricas de equipamentos auxiliares (potência consumida, fator de potência, fator de fluxo luminoso, distorção harmônica) [10].

Cada atividade desenvolvida deve ter o emprego de equipamentos eficientes e adequados a ela, assim maior será a economia de energia e mais harmonioso ficará o ambiente, em termos estéticos e funcionais [5].

O próximo passo deve ser a determinação de Fator de Utilização ( $U$ ), dado por tabelas que são fornecidas pelo fabricante das luminárias, indicando o desempenho da luminária, ou calculado a partir das eficiências do recinto ( $\eta_R$ ) e eficiência da luminária ( $\eta_L$ ).

Para obter  $\eta_R$  é preciso cruzar, na Tabela 2,8, o valor encontrado do Índice local ( $k$ ) com os dados de índice de reflexão da Tabela 2.7, que dependem das superfícies no recinto

Tabela 2.7 – Índices de reflexão.

Índice	Reflexão	Superfície
0,1	10%	Escura
0,3	30%	Média
0,5	50%	Clara
0,8	80%	Branca

Fonte: [10]

Tabela 2.8 – Eficiência do recinto.

	Índice de reflexão													
	Teto	0,8			0,5			0,8			0,5			0,3
	Parede	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3		
	Piso	0,3						0,1						
Índice do Recinto (k)	0,6	<b>0,72</b>	<b>0,48</b>	<b>0,42</b>	<b>0,47</b>	<b>0,42</b>	<b>0,68</b>	<b>0,47</b>	<b>0,41</b>	<b>0,47</b>	<b>0,41</b>	<b>0,40</b>		
	0,8	<b>0,85</b>	<b>0,61</b>	<b>0,54</b>	<b>0,59</b>	<b>0,53</b>	<b>0,8</b>	<b>0,59</b>	<b>0,53</b>	<b>0,58</b>	<b>0,52</b>	<b>0,52</b>		
	1	<b>0,94</b>	<b>0,69</b>	<b>0,62</b>	<b>0,67</b>	<b>0,61</b>	<b>0,87</b>	<b>0,67</b>	<b>0,61</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>	<b>0,59</b>		
	1,25	<b>1,01</b>	<b>0,78</b>	<b>0,71</b>	<b>0,75</b>	<b>0,69</b>	<b>0,92</b>	<b>0,75</b>	<b>0,68</b>	<b>0,73</b>	<b>0,68</b>	<b>0,66</b>		
	2	<b>1,11</b>	<b>0,91</b>	<b>0,84</b>	<b>0,87</b>	<b>0,81</b>	<b>1,00</b>	<b>0,86</b>	<b>0,80</b>	<b>0,84</b>	<b>0,79</b>	<b>0,78</b>		
	2,25	<b>1,15</b>	<b>0,97</b>	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	<b>0,87</b>	<b>1,02</b>	<b>0,91</b>	<b>0,85</b>	<b>0,88</b>	<b>0,83</b>	<b>0,82</b>		
	3	<b>1,18</b>	<b>1,02</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>	<b>1,04</b>	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>	<b>0,91</b>	<b>0,87</b>	<b>0,86</b>		
	4	<b>1,21</b>	<b>1,09</b>	<b>1,02</b>	<b>1,02</b>	<b>0,96</b>	<b>1,05</b>	<b>0,97</b>	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	<b>0,91</b>	<b>0,90</b>		
	5	<b>1,23</b>	<b>1,12</b>	<b>1,06</b>	<b>1,04</b>	<b>1,00</b>	<b>1,06</b>	<b>1,00</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,94</b>	<b>0,92</b>		

Fonte: [10]

O valor encontrado nesse cruzamento é a eficiência do recinto  $\eta_R$ . O fator de utilização (FU) é obtido pela multiplicação com o rendimento da luminária, dado pelo fabricante ou obtido pela Tabela 2.9.

$$FU = \eta_R \times \eta_L \quad (7)$$

Tabela 2.9 – Eficiência aproximada de luminárias.

Tipo	Eficiência
Luminárias abertas com lâmpadas nuas	0,9
Luminárias com refletor ou embutidas abertas	0,7
Luminárias com refletor e lamelas de alta eficiência	0,7
Luminárias com refletor ou embutidas com lamelas	0,6
Luminárias tipo <i>plafon</i> com acrílico anti-ofuscante	0,6
Luminárias de embutir com acrílico anti-ofuscante	0,5

Fonte: [12]

Feito isso, determina-se o Fator de Manutenção. Esse fator é importante, pois a luminária diminui progressivamente sua luminosidade ao longo do tempo, e tal perda luminosa deve ser prevista.

Na Tabela 2.10 é possível ver valores referência de fatores de manutenção conforme o período de manutenção do ambiente em horas e o nível de limpeza do ambiente.

Tabela 2.10 – Fatores de Manutenção Recomendados

AMBIENTE	2.500 <sub>H</sub>	5.000 <sub>H</sub>	7.500 <sub>H</sub>
LIMPO	0,95	0,91	0,88
NORMAL	0,91	0,85	0,80
SUJO	0,80	0,66	0,57

Fonte: [12]

A partir disso, é então feito o dimensionamento. Nessa parte é calculado o número de luminárias necessárias para um determinado ambiente, obedecendo a seguinte fórmula:

$$N = \frac{E_{med} \times S}{n \times \phi_n \times FU \times FM \times FFL} \quad (8)$$

Em que:  $N$ : número necessário de luminárias;  $E_{med}$ : iluminância média (lux);  $S$ : área do ambiente em  $m^2$ ;  $n$ : número de lâmpadas em cada luminária;  $\phi_n$ : fluxo luminoso de cada lâmpada (lm);  $FU$ : fator de utilização;  $FM$ : fator de manutenção;  $FFL$ : fator de fluxo luminoso do reator (quando aplicável – somente lâmpadas de descarga).

Quando o número de luminárias é conhecido, a iluminância média pode ser calculada pela fórmula:

$$E_{med} = \frac{N \times n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}{S} \quad (9)$$

Por fim, é feita a distribuição das luminárias, de modo que possam atender o nível de iluminância e as condições requeridas de projeto. Para isso existem certas recomendações:

- Buscar uma distribuição uniforme no recinto;
- Procurar obter valores próximos de “a” e “b”, sendo  $a > b$ , desde que respeitando a curva de distribuição luminosa da luminária;
- Recomenda-se que as distâncias “a” e “b” entre luminárias sejam o dobro da distância entre estas e as paredes laterais;
- Recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias quando a quantidade resultante do cálculo não for compatível com a distribuição desejada.

## 2.4. Tipos de lâmpadas

A maioria das residências podem aplicar medidas de eficiência na área de iluminação, e com isso obter economias entre 15 e 20% na tarifa de energia, sem qualquer perda na qualidade da iluminação [5] [8].

Isto pode ser feito simplesmente substituindo o tipo de lâmpada usado, já que cada tecnologia tem um nível diferente de eficiência luminosa (quanto de trabalho é convertido em luz e quanto em calor) [8].

São vários os tipos de lâmpadas existentes, no entanto, para uso residencial, comercial e industrial são usados principalmente quatro: incandescentes, halógenas, fluorescentes e de LED [8] [1].

### 2.4.1. Lâmpadas incandescentes e halógenas

A lâmpada incandescente é constituída por um filamento de tungstênio existente no interior de uma ampola de vidro preenchida com gás inerte [8]. Quando há a passagem de corrente elétrica pelo filamento, os elétrons chocam-se com os átomos de tungstênio, liberando assim energia que é transformada em luz e calor. Entre suas principais características, estão:

- Vida útil média de 1.000 horas de funcionamento;
- Índice de reprodução de cores de valor 100 na escala de 0 a 100;
- Rendimento luminoso de 17 lm/w, o menor entre todas as lâmpadas. A maior parte da energia elétrica usada por ela é convertida em calor e não em luz;
- Temperatura de cor de 2.700 K.
- Baixo custo, o menor entre todas as lâmpadas.

Lâmpadas incandescentes foram proibidas de serem comercializadas no mercado brasileiro devido ao seu baixo rendimento luminoso, porém, ainda é possível encontra-las em residências [8]. A figura 2.2 ilustra uma lâmpada incandescente.

Figura 2.2 – Lâmpada incandescente comum e seus componentes.



Fonte: Proposta de material didático para contextualização histórica de fontes luminosas e tecnologias de iluminação.<sup>1</sup>

A lâmpada halógena, por sua vez, tem um princípio de funcionamento bastante parecido com a incandescente, sendo, de fato, um tipo de lâmpada incandescente. A diferença no funcionamento se dá devido à presença de um gás halogênio dentro do bulbo, o que permite

<sup>1</sup> Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/318755563\\_Proposta\\_de\\_material\\_didatico\\_para\\_contextualizacao\\_historica\\_de\\_fontes\\_luminosas\\_e\\_tecnologias\\_de\\_iluminacao\\_Proposal\\_of\\_didactic\\_material\\_for\\_historical\\_contextualization\\_of\\_light\\_sources\\_and\\_lighti](https://www.researchgate.net/publication/318755563_Proposta_de_material_didatico_para_contextualizacao_historica_de_fontes_luminosas_e_tecnologias_de_iluminacao_Proposal_of_didactic_material_for_historical_contextualization_of_light_sources_and_lighti)>. Acesso em 24 de novembro de 2018.

que o filamento de tungstênio possa trabalhar em maiores temperaturas, o que aumenta a eficiência luminosa e permite uma luz mais branca. Sua eficiência é maior que a incandescente comum e tem uma vida útil maior, além de poder ser mais compacta. É ligeiramente mais cara. Diferente da incandescente comum, as lâmpadas halógenas ainda têm a venda permitida, tendo de fato substituído parte das incandescentes comuns, principalmente devido a serem mais baratas que fluorescente compactas, embora consumam mais energia que elas [8].

### 2.4.2. Lâmpadas fluorescentes

São hoje as mais vendidas para uso residencial, especialmente devido à economia de energia proporcionada que pode ir até 80% e uma duração que pode ser 15 vezes maior, em comparação com a lâmpada incandescente [8]. Tem vida útil média de 8.000 horas; eficiência luminosa de até 69 lm/w; índice de reprodução de cor de valor 85 em um máximo de 100; pelo menos três opções de temperatura de cor 2.700K, 4.000K e 6.500K [8]. É possível observar alguns tipos de lâmpadas fluorescentes compactas na Figura 2.3. Os modelos tubulares, que usam luminárias e reatores próprios, também são extremamente comuns, sobretudo para uso comercial e industrial.

*Figura 2.3 – Lâmpada Fluorescente*



*Fonte: Lâmpadas fluorescentes compactas: os prós e os contras de seu uso.<sup>2</sup>*

### 2.4.3. Lâmpadas LED

Lighting Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz) é um componente eletrônico produzido a partir do silício (ou germânio e, mais recentemente, carbono) capaz de emitir luz quando percorrido por uma corrente elétrica. Estes componentes são usados como base para a confecção das lâmpadas de LED atuais. Suas principais características são [8]:

---

<sup>2</sup> Disponível em: < <https://qualidadeonline.wordpress.com/2013/06/28/lampadas-fluorescentes-compactas/>>. Acesso em 9 de junho de 2018.

- Vida útil média de 30.000 horas;
- Eficiência luminosa de 50 lm/W;
- Índice de reprodução de cores alcança grandes valores;
- Há grande facilidade de se encontrar lâmpadas LED na faixa de 2.700K a 6.500K

A figura 2.4 mostra a imagem de uma lâmpada LED, onde se pode observar os diodos emissores de luz que a constituem. Cada LED emite uma parte do total de luz emitido pela lâmpada LED

Figura 2.4 – Lâmpada LED compacta



*Fonte: Corujamix.<sup>3</sup>*

Além disso, a tecnologia LED permite escolher uma vasta gama de cores de luz em diferentes formatos e tamanhos, de lâmpadas compactas a fitas, spots, refletores e até bulbos que imitam as incandescentes, tornando elas versáteis e adaptáveis aos mais diversos estilos arquitetônicos ou de decoração [5] [8].

## 2.5. A NBR 5410 e os circuitos de iluminação

A primeira edição da NBR 5410 data de 1980, sendo que era uma atualização e melhoria da antiga NB-3, cuja primeira edição foi em 1941; sua versão mais recente é de 2004 [6]. Portanto, foi pensada e publicada durante a vigência absoluta das lâmpadas incandescentes, que, como visto na seção 2.4.1, tem baixa eficiência energética e, conseqüentemente, requer um nível de corrente de funcionamento significativamente maior que o exigido por lâmpadas fluorescentes ou LED, para um mesmo valor de radiação luminosa emitida. Em 2004, quando ocorreu a última revisão da NBR 5410, as lâmpadas incandescentes ainda eram maioria nas

---

<sup>3</sup> Disponível em: < <http://www.corujamix.com.br/produto/lampada-led-3u-7w-branco-frio-6000k-bivolt-90-mais-economica/113192>>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

residências, embora já estivessem sendo gradualmente substituídas pelas fluorescentes compactas e nas indústrias e comércios já estivesse quase sendo totalmente abandonada [8].

Desde então, porém, as lâmpadas incandescentes tiveram seu uso reduzido drasticamente. Em 2014 começou um processo de proibição da comercialização, em território nacional, de lâmpadas desta tecnologia, que foi concluído em 2017, o que decretou, para fins práticos, o fim do uso desse tipo de lâmpada no país [11].

Diante do exposto, é levantada a hipótese de que a NBR 5410 poderia ser atualizada no que toca a exigência mínima da seção transversal dos fios e cabos dos circuitos de iluminação, já que o uso de lâmpadas fluorescentes e LED requerem menor circulação de corrente e, portanto, poderiam ser usados fios mais finos, que também são mais baratos. Esta hipótese será investigada à frente neste trabalho.

Vale mencionar, porém, que a NBR 5410 [2] já reconhece que os limites mínimos de seção estipulados por ela são por razões mecânicas, sendo este valor, para circuitos de iluminação,  $1,5 \text{ mm}^2$  para condutores de cobre e  $16 \text{ mm}^2$  para condutores de alumínio. No entanto, a mesma norma, no mesmo tópico, admite que sejam usados condutores de cobre de  $0,5 \text{ mm}^2$  para circuitos de controle e sinalização [2]. Este trabalho, portanto, além de comprovar de maneira muito breve que, eletricamente falando, é possível e seguro usar condutores mais finos, deverá também considerar as limitações mecânicas e, se necessário e possível, propor soluções para que a baixa espessura dos condutores deixem de ser um problema que impede sua utilização.

## **2.6. Considerações Finais**

Neste capítulo foram apresentados alguns requisitos que as normas técnicas brasileiras estipulam para instalações elétricas residenciais e os níveis de iluminação mínimo dos ambientes.

O melhor lugar para o quadro de distribuição, como visto, é o mais próximo possível do ponto de centro de cargas da instalação, que é definido com base nas coordenadas dos pontos de carga e suas respectivas potências.

A principal metodologia de cálculo de luminárias necessárias para atender aos requisitos de iluminação, o método dos lúmens, foi apresentada no capítulo e deverá ser retomada no capítulo seguinte.

Por fim foram apresentadas as quatro principais tecnologias de lâmpadas de uso doméstico disponíveis, enumerando algumas das particularidades de cada uma.

No próximo capítulo, será feito parte do projeto elétrico de uma residência, a fim de, posteriormente, poder se realizar comparações para determinar quais métodos ou materiais podem reduzir os custos totais do sistema elétrico de uma residência.

## CAPÍTULO III – PROJETO E CÁLCULOS

### 3.1. Considerações Iniciais

O desenvolvimento deste trabalho se compõe, sobretudo, de comparações entre diferentes técnicas ou materiais, apresentando as vantagens e desvantagens do uso de cada um deles. Dessa forma, é necessário definir certas metodologias de modo a serem realmente comparáveis os resultados.

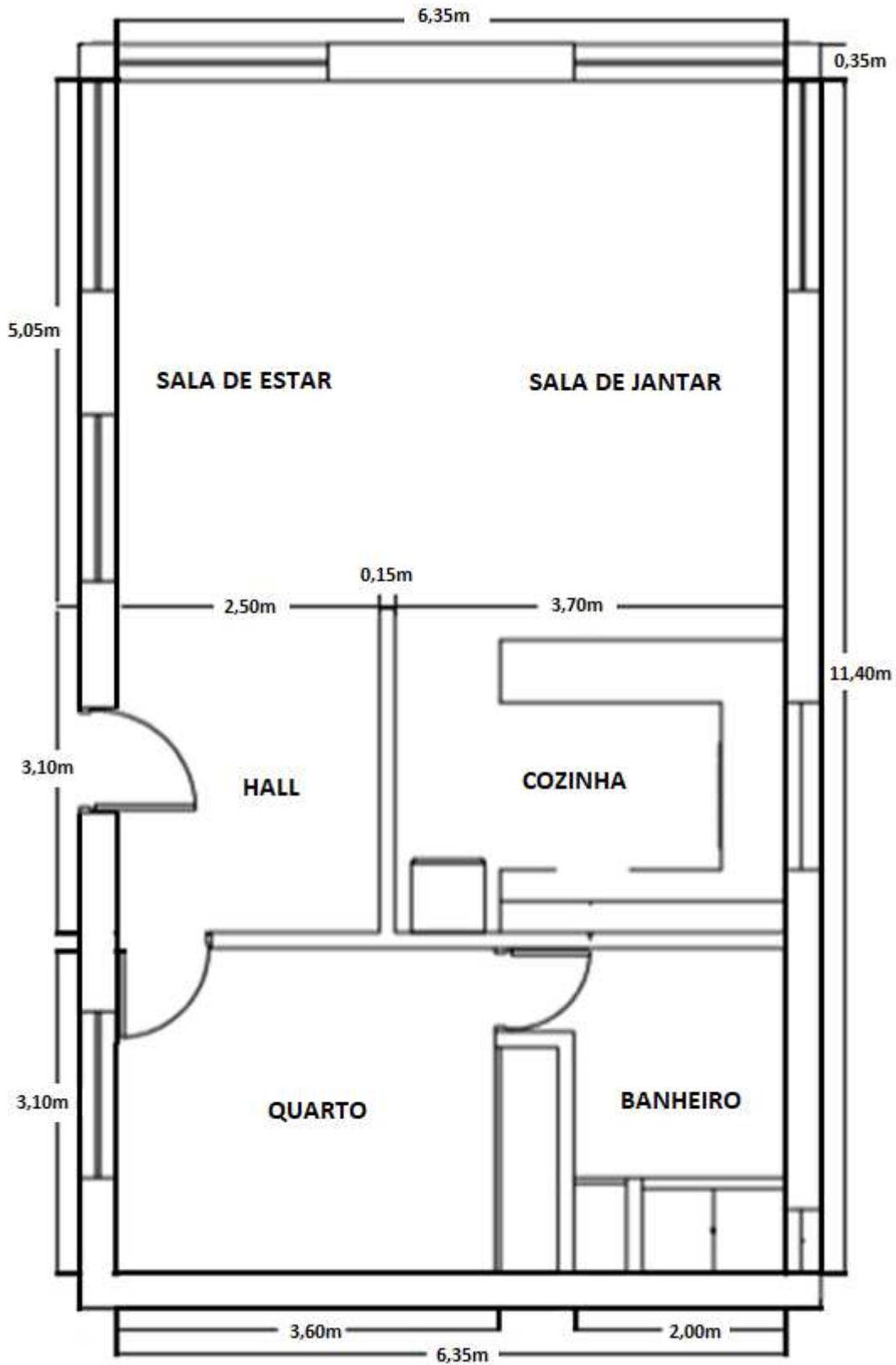
A primeira delas é que, para comparação da distribuição de condutos e condutores, visando a redução de seu comprimento total, parte-se do princípio de que em todas as metodologias de distribuição usadas, estas distribuições se farão a partir do quadro de distribuição fixo. Ou seja, em ambas, o quadro estará exatamente no mesmo ponto da planta. Tal ponto será calculado com base no centro de carga, já exposto no Capítulo II. A planta usada, obviamente, será também a mesma, a saber a planta mostrada na Figura 3.1. Pela mesma lógica, os pontos de carga serão os mesmos, e serão definidos conforme as recomendações da NBR 5410.

No que se refere a comparação da eficiência energética do sistema de iluminação, serão comparados os quatro tipos de lâmpada já mencionados (incandescente, halógena, fluorescente e LED) na mesma planta da Figura 3.1. A distribuição das luminárias será realizada pelo método dos lúmens. O método dos lúmens, porém, requer o fluxo luminoso da lâmpada usada, sendo que o número de pontos de luz para um mesmo ambiente e usando os mesmos requisitos de iluminância (que serão definidos, por sua vez, usando as recomendações da NBR 5413) varia caso sejam usadas lâmpadas de diferentes valores de fluxo luminoso. Portanto, para a comparação ser válida, serão usados, nos quatro casos, lâmpadas com o mesmo valor de fluxo luminoso, sendo que suas potências serão calculadas a partir dos dados da tabela 3.1, que relaciona as duas variáveis.

*Tabela 3.1 – Comparação da eficiência luminosa dos diferentes tipos de lâmpadas.*

<b>Tipo de lâmpada</b>	Incandescente	Halógena	Fluorescente	LED
<b>Eficiência luminosa (lm/W)</b>	10 a 15	15 a 25	55 a 75	100 a 170

*Fonte: Autora, com base em [8].*

*Figura 3.1 – Planta do imóvel.*

*Fonte: Autora.*

### 3.2. Definição dos pontos de tomada

Seguindo as recomendações da NBR5410 já abordadas na seção 2.3.3, far-se-á o cálculo do número de tomadas em cada cômodo. Numa segunda etapa, as tomadas serão distribuídas na planta.

#### 3.2.1. Cálculos

Para a cozinha, conforme as cotas mostradas na Figura 3.1, temos o perímetro dado pelo comprimento de duas paredes de 3,70 m somado ao de outras duas de 3,10 m. Conforme já abordado na seção 2.3.3, a NBR 5410 estipula que para cozinhas, deverá haver um ponto de tomada a cada 3,5 m de perímetro. Se o resultado der um número não inteiro, o arredondamento deve ser para cima [2].

$$\frac{2 \times 3,70 \text{ m} + 2 \times 3,10 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} = \frac{13,6 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} = 3,84 \cong 4 \text{ tomadas}$$

Ainda de acordo com a norma, a potência mínima a ser prevista para cozinhas e banheiros, é de 600 VA para os três primeiros pontos, e 100 VA para cada ponto excedente. Logo, a carga na cozinha será de:

$$3 \times 600 \text{ VA} + 1 \times 100 \text{ VA} = 1900 \text{ VA}$$

No caso das salas de estar e jantar, *hall* e do quarto, a norma prevê no mínimo um ponto para cada 5 m de perímetro. Logo, o cálculo é semelhante ao mostrado no exemplo acima, da cozinha, tendo o cuidado apenas de realizar a divisão do perímetro por 5 metros, em vez de 3,5 metros.

No que se refere a previsão de carga das tomadas desses ambientes, a norma estipula que deve ser considerado 100 VA para cada ponto de tomada, desde a primeira.

O banheiro deverá possuir no mínimo um ponto de tomada, junto ao lavatório, e afastada ao menos em 60 cm do boxe. O cálculo da carga é igual ao da cozinha.

Assim sendo, o resumo do cálculo de tomadas e suas cargas na planta usada neste trabalho, é discriminado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Resumo dos pontos de tomada de uso geral na residência.

	Cozinha	Dormitório	Sala de estar	Sala de jantar	Hall	Banheiro
Número de TUG	4	3	4	4	3	2
Potência total	1900 VA	300 VA	400 VA	400 VA	300 VA	1200 VA

Fonte: Autora.

Quanto às tomadas de uso específico, elas são usadas conforme a necessidade e respeitam a potência dos equipamentos que irão alimentar. Neste projeto foram estipuladas quatro tomadas de uso específico, descritas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Resumo dos pontos de tomadas de uso específico na residência.

	Geladeira	Forno Micro-ondas	Ar-condicionado	Chuveiro elétrico
Localização	Cozinha	Cozinha	Dormitório	Banheiro
Potência	150 VA	1125 VA	3080 VA	6000 VA

Fonte: Autora.

### 3.2.2. Distribuição dos pontos de tomada

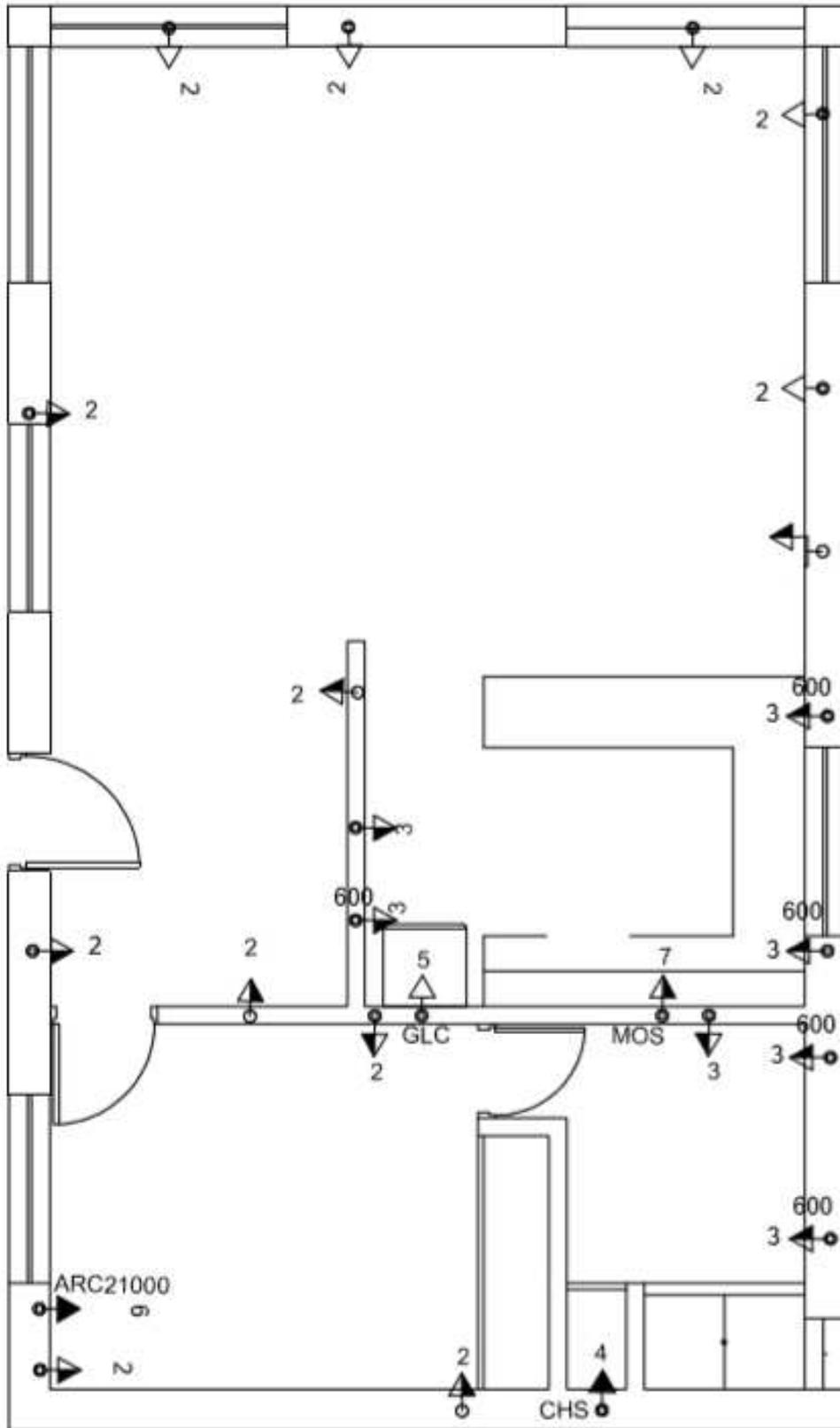
Seguindo a recomendação de distribuir as tomadas o mais uniformemente possível (excetuando-se as recomendações para cozinhas e banheiros, onde, respectivamente, recomenda-se que haja ao menos um ponto sobre a bancada e um ponto junto ao lavatório; e as de uso específico, que têm uma posição pré-definida), as tomadas são distribuídas conforme Figura 3.2.

### 3.3. O cálculo luminotécnico

O cálculo será realizado usando o método dos lúmens.

O primeiro passo é definir a lâmpada a ser usada. Conforme já explicado na seção 3.1, as lâmpadas usadas terão sempre o mesmo valor de fluxo luminoso. Este valor escolhido foi de 1200 lúmens, por ser um valor comum de uma lâmpada fluorescente de 20 W [8].

Figura 3.2 – Localização dos pontos de tomadas no imóvel.



Fonte: Autora.

É preciso definir, também, o modelo de luminária usado no imóvel. O modelo escolhido é uma luminária do tipo *plafon*, de sobrepor, da marca JD MOLINA, mostrada na Figura 3.3, que irá compor o sistema de iluminação em todos os cômodos.

Figura 3.3 – Luminária tipo *plafon* de sobrepor JD MOLINA.



Fonte: MadeiraMadeira.<sup>4</sup>

Uma vez que a luminária é dotada de acrílico anti-ofuscante, seu rendimento  $\eta_L$  está em torno de 0,6, conforme a Tabela 2.9.

### 3.3.1. Cozinha

Sob o ponto de vista da tarefa e do observador, considera-se que a cozinha tem atributo de velocidade e precisão classificado como importante.

De acordo com a NBR 5413, para cozinhas, com base na Tabela 2.6 de Iluminância, em lux, e soma dos pesos da Tabela 2.5, chega-se ao resultado médio de 150 lux.

A cozinha, assim como todos os ambientes da casa, tem boa refletância, com teto branco, paredes claras e piso médio. Os índices de reflexão, portanto, devem ser obtidos da Tabela 2.9, sendo para teto, parede e chão, respectivamente, 0,8, 0,5 e 0,3.

Inicialmente é calculado o índice do recinto ( $K$ ) utilizando a Equação 1.

O plano de trabalho  $h$  está no nível do fogão, pia e mesa, que são padronizados em 90 cm. Assim, a altura considerada será a diferença entre o pé-direito, de 3 metros, e o nível de trabalho subtraída da altura da luminária, que é de 10 cm.

$$h = 3 \text{ m} - 0,9 \text{ m} - 0,1 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

Aplicando-se na Equação 5:

<sup>4</sup> Disponível em: < <https://www.madeiramadeira.com.br/plafon-para-2-lampadas-redondo-25cm-7651-jd-molina-186551.html>>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

$$k = \frac{c \times l}{h(c + l)} = k = \frac{3,70 \times 3,10}{2(3,70 + 3,10)} = 0,84$$

Obteve-se um valor de Índice de Recinto  $k$  de 0,84.

Uma vez calculado o valor de  $k$ , e utilizando-se da Tabela 2.8 é possível obter o valor de eficiência do recinto  $\eta_R$ . No caso, como o valor de  $k$  de 0,84 não é tabelado, aplica-se regra de três com os dados mais próximo ( $k = 0,8$ , no caso).

Dessa forma, usando a Tabela 2.8, considerando os índices de reflexão de teto, paredes e chão como 0,8, 0,5 e 0,3, respectivamente, e considerando  $k = 0,8$ , obtém-se uma eficiência de 0,61.

Aplicando-se a regra de três se obtém o índice para  $k = 0,84$ :

$$0,80 \rightarrow 0,61$$

$$0,84 \rightarrow \eta_R$$

$$\eta_R = 0,64$$

Nesse ponto é importante recordar que a eficiência da luminária utilizada é  $\eta_L=0,6$ , conforme Tabela 2.9.

Então calcula-se o Fator de Utilização  $FU$ , utilizando a equação 7:

$$FU = \eta_R \times \eta_L = 0,64 \times 0,6 = 0,38$$

A seguir, obtém-se da Tabela 2.10 o Fator de manutenção  $FM$ , considerando, nesse caso, que a cozinha é um ambiente limpo e que a manutenção será realizada em períodos de 7500 h. O valor obtido é 0.88.

Com o valor de utilização  $FU$ , é possível então calcular o número de lâmpadas para a cozinha, utilizando a Equação 8:

$$N = \frac{E_{med} \times S}{n \times \Phi_n \times FU \times FM \times FFL} = \frac{150 \text{ lux} \times (3,70 \text{ m} \times 3,10 \text{ m})}{1 \frac{\text{lâmpada}}{\text{luminária}} \times 1200 \text{ lm} \times 0,38 \times 0,88 \times 1}$$

$$= 4,28 \text{ luminária} \cong 5 \text{ luminárias}$$

Logo, para atender à demanda de iluminação da cozinha serão necessárias cinco luminárias tipo *plafon JD MOLINA*, cada uma com uma lâmpada de 1200 lúmens.

### 3.3.2. Sala de jantar

De acordo com a NBR 5413, para sala de jantar, com base na tabela 2.6 de iluminância em lux e soma dos pesos da tabela 2.5, chega-se ao resultado médio de 150 lux.

O plano de trabalho é o da mesa de jantar, com padrão de 80 cm, assim, a altura

considerada será a diferença entre o pé-direito e o nível de trabalho subtraída da altura da luminária, que é de 10 cm.

$$h = 3 m - 0,8 m - 0,1 m = 2,1 m$$

Ou seja, 2,1 m é a altura do plano da mesa até a lâmpada, considerando um pé direito de 3 m.

Seguindo o mesmo método de cálculo ilustrado da seção anterior, tem-se que para atender à demanda de iluminação da sala de jantar, serão necessárias seis luminárias JD MOLINA com uma lâmpada de 1200 lúmens em cada uma.

### 3.3.3. Sala de estar

De acordo com a NBR 5413, para sala de estar, com base na tabela 2.6 de Iluminância em lux e soma dos pesos da tabela 2.5, chegamos ao resultado inferior de 100 lux.

A altura  $h$  considerada será a altura do pé-direito subtraído da altura da luminária, que é de 10cm, uma vez que o plano de trabalho da sala de estar é o chão.

$$h = 3m - 0,1m = 2,9m$$

Seguindo o mesmo método de cálculo ilustrado da Seção 3.3.1, tem-se que para atender à demanda de iluminação da sala de estar, serão necessárias cinco luminárias JD MOLINA com uma lâmpada de 1200 lúmens em cada uma.

### 3.3.4. Dormitório

De acordo com a NBR 5413, para dormitórios, com base na tabela 2.6 de Iluminância em lux e soma dos pesos da tabela 2.5, chegamos ao resultado inferior de 100 lux.

A altura  $h$  considerada será a altura do pé-direito subtraído da altura da luminária, que é de 10 cm, uma vez que o plano de trabalho do dormitório é o chão.

Prosseguindo com os cálculos anteriormente ilustrados, chega-se à conclusão de que para atender à demanda de iluminação do quarto serão necessárias cinco luminárias tipo *plafon* JD MOLINA com uma lâmpada de 1200 lúmens em cada.

### 3.3.5. Banheiro

De acordo com a NBR 5413, para o banheiro, com base na tabela 2.6 de Iluminância em lux e soma dos pesos da tabela 2.5, chegamos ao resultado inferior de 100 lux.

Será necessário quatro luminária tipo *plafon* JD MOLINA, com uma lâmpada de 1200 lúmens em cada uma, pra atender a demanda de iluminação do banheiro.

### 3.3.6. Hall de entrada

De acordo com a NBR 5413, para *hall*, com base na tabela 2.6 de Iluminância em lux e soma dos pesos da tabela 2.5, chegamos ao resultado inferior de 75 lux.

Serão necessárias duas luminária tipo *plafon* JD MOLINA, com uma lâmpada de 1200 lúmens em cada.

### 3.3.7. Distribuição das luminárias

As luminárias devem ser distribuídas de modo uniforme pelo ambiente, assegurando uma iluminação igualmente uniforme. A referência [12] recomenda:

Recomenda-se que o espaçamento que deve existir entre as luminárias seja condicionado à sua altura útil, que por sua vez pode conduzir a uma distribuição adequada de luz. Assim, a distância máxima entre os centros das luminárias deve ser de 1 a 1,5 da sua altura útil. O espaçamento da luminária à parede deve corresponder a metade deste valor.

A Figura 3.4 traz os pontos de iluminação já definidos na planta baixa.

## 3.4. Definição do ponto de instalação do quadro de distribuição

O quadro de distribuição, como visto, deve ser instalado o mais perto do possível do centro de carga da instalação. Uma vez definidos os pontos de tomadas e de luz, é possível aplicar os cálculos. Retomando as Equações 1 e 2, é possível ver que o cálculo depende diretamente das coordenadas dos pontos de consumo (tomadas e lâmpadas), assim como a potência de cada ponto.

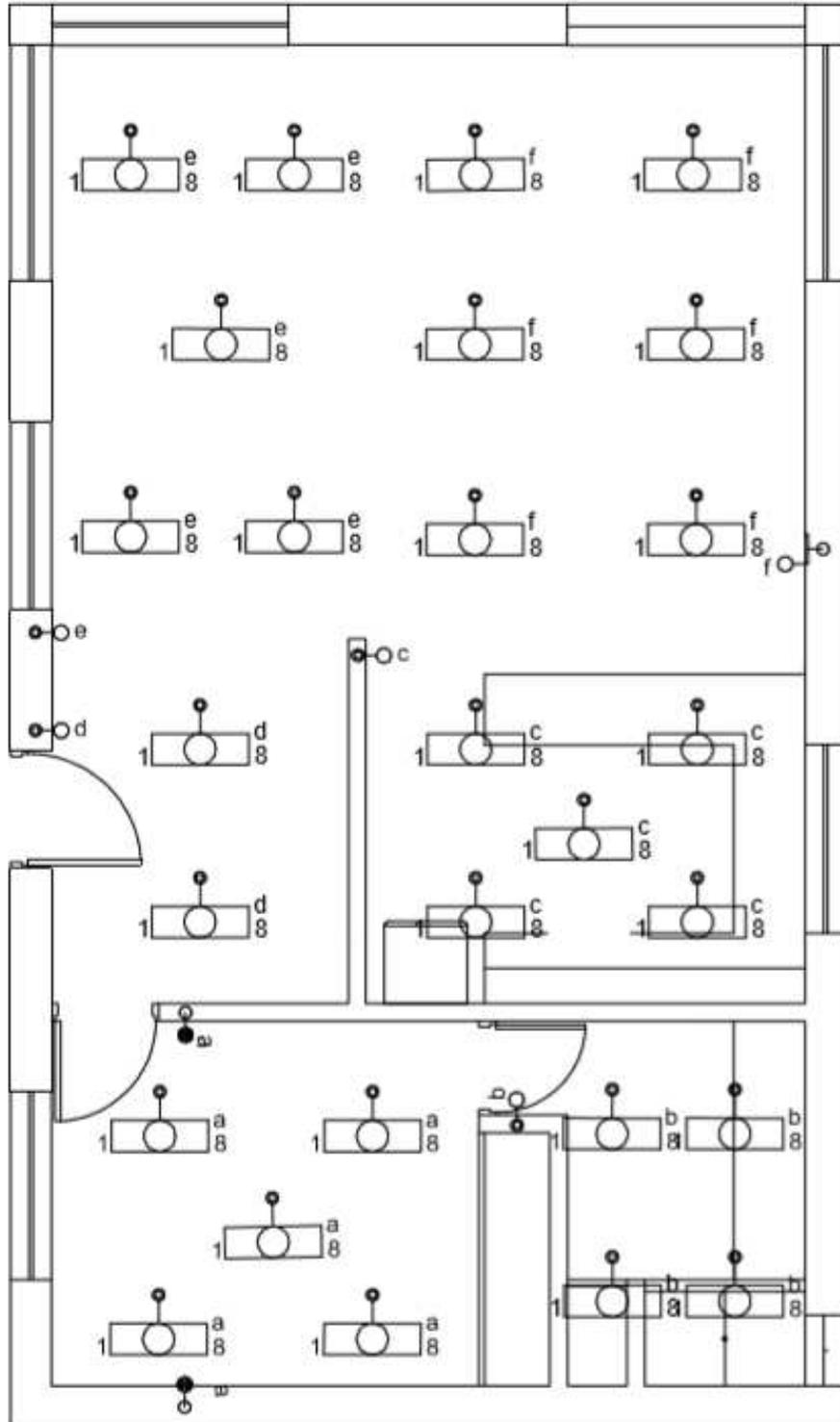
A análise cartográfica parte da Figura 3.5, onde estão definidos os pontos de todas as luminárias e tomadas do projeto.

O próprio *software* tipo CAD usado é capaz de mostrar as coordenadas de determinados pontos escolhidos na prancha, podendo estes dados serem usados sem a necessidade de fazer manualmente a determinação dos pontos no plano. É importante que todas as coordenadas sejam anotadas de uma vez, sem mover a planta pela prancha. Para simplificação é recomendável posicionar a planta próxima à origem dos eixos na prancha, mantendo-a no primeiro quadrante (a direita do eixo vertical e acima do eixo horizontal). No entanto, isso não é obrigatório, podendo a planta estar em qualquer ponto do plano – nesse caso, é preciso respeitar o sinal das coordenadas.

Para ilustrar o método, a Tabela 3.4 discrimina as coordenadas X e Y dos pontos de carga da planta da Figura 3.5, e suas potências. Foi considerada a potência de 8 W para os pontos de iluminação por ser considerado o uso de lâmpadas LED. O uso de outros tipos de

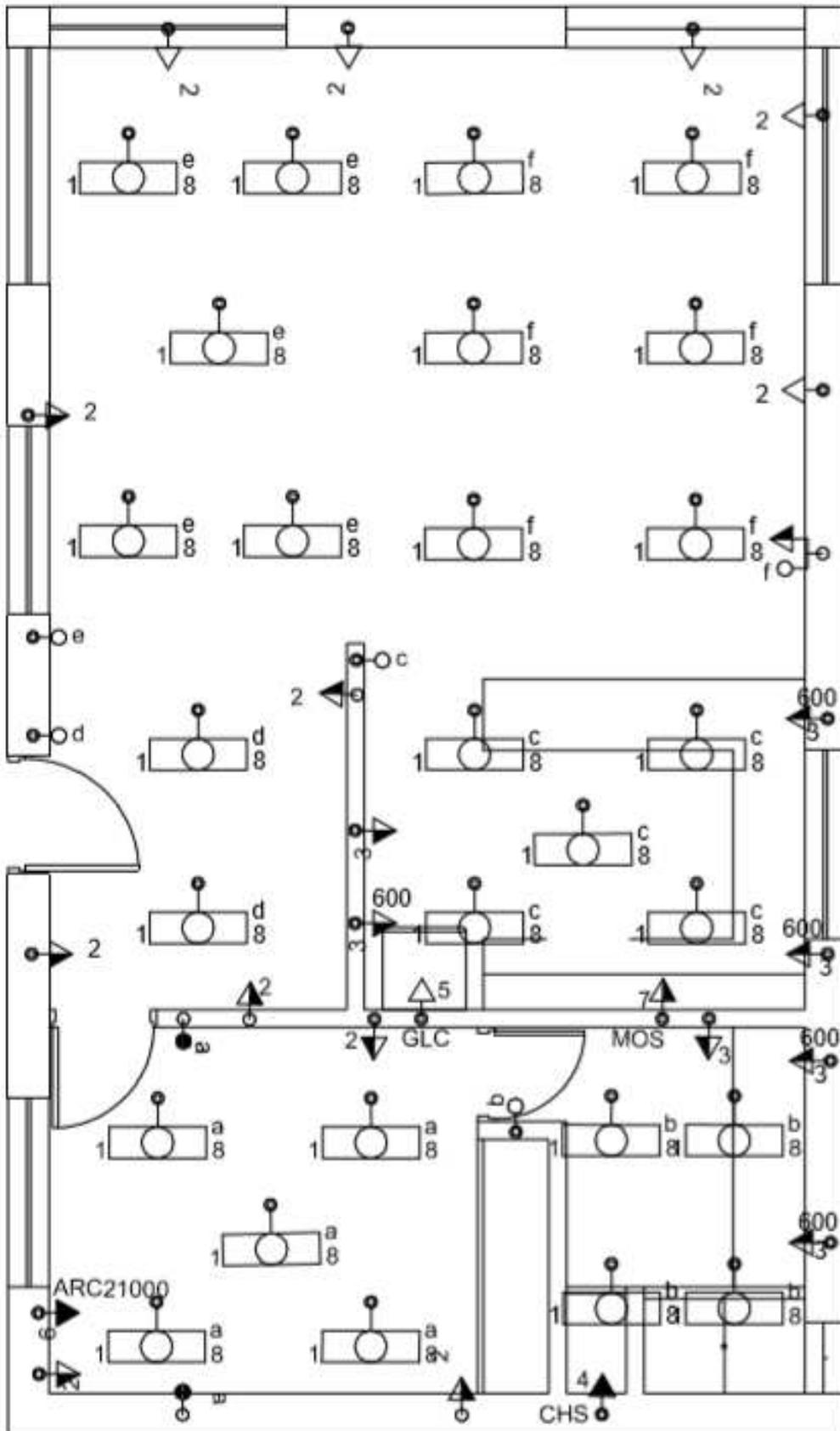
lâmpadas tenderia a jogar o quadro mais para o centro geométrico da planta, porém com uma influência não tão alta que obrigaria mudar o quadro de onde será de fato instalado usando os dados de lâmpadas LED. Tais dados devem ser aplicados na Equação 1 e 2 a fim de se obter o ponto ideal para o quadro.

Figura 3.4 – Distribuição dos pontos de luz pelo ambiente.



Fonte: Autora.

Figura 3.5 – Planta com os pontos de carga definidos.



Fonte: Autora.

Tabela 3.4 – Coordenadas dos pontos de carga da residência.

	Ponto de carga	Coordenada X	Coordenada Y	Potência
Cozinha	Lâmpada 1	392.105	613.296	8 VA
	Lâmpada 2	578.789	613.296	8 VA
	Lâmpada 3	483.302	532.826	8 VA
	Lâmpada 4	392.105	466.505	8 VA
	Lâmpada 5	578.789	466.505	8 VA
	Tomada 1	688.743	606.074	600 VA
	Tomada 2	688.743	406.757	600 VA
	Tomada 3	291.857	432.818	600 VA
	Tomada 4	291.857	511.432	100 VA
	TUE Geladeira	347.456	351.915	150 VA
TUE Forno MO	549.845	351.915	1125 VA	
Sala de Jantar	Lâmpada 1	391.453	1101.43	8 VA
	Lâmpada 2	575.108	1101.43	8 VA
	Lâmpada 3	391.453	957.381	8 VA
	Lâmpada 4	577.81	957.381	8 VA
	Lâmpada 5	391.453	791.44	8 VA
	Lâmpada 6	577.81	791.44	8 VA
	Tomada 1	575.484	1189.84	100 VA
	Tomada 2	684.764	1117.2	100 VA
	Tomada 3	684.764	884.098	100 VA
	Tomada 4	684.764	745.828	100 VA
Sala de estar	Lâmpada 1	101.438	1101.43	8 VA
	Lâmpada 2	239.312	1101.43	8 VA
	Lâmpada 3	177.8	957.381	8 VA
	Lâmpada 4	101.438	793.9	8 VA
	Lâmpada 5	239.312	793.9	8 VA
	Tomada 1	134.85	1189.84	100 VA
	Tomada 2	285.799	1189.84	100 VA
	Tomada 3	17.133	862.868	100 VA
Dormitório	Lâmpada 1	126.033	284.739	8 VA
	Lâmpada 2	305.225	284.739	8 VA
	Lâmpada 3	220.758	194.505	8 VA
	Lâmpada 4	125.004	112.187	8 VA
	Lâmpada 5	305.176	112.187	8 VA
	Tomada 1	308.078	351.678	100 VA
	Tomada 2	381.459	16.518	100 VA
	Tomada 3	26.86	51,232	100 VA
	TUE ar condicionado	25,759	102,98	3080 VA
Banheiro	Lâmpada 1	507.152	286.61	8 VA
	Lâmpada 2	610.481	286.61	8 VA
	Lâmpada 3	507.152	144.352	8 VA
	Lâmpada 4	610.481	144.352	8 VA
	Tomada 1	589.074	352.106	600VA
	Tomada 2	691.223	316.375	600 VA
	Tomada 3	691.223	162.598	600 VA
	TUE Chuveiro	499.066	17.1611	6000 VA
Hall de Entrada	Lâmpada 1	159.85	613.296	8 VA
	Lâmpada 2	159.85	466.505	8 VA
	Tomada 1	293.601	626.166	100 VA
	Tomada 2	203.037	351.386	100 VA
	Tomada 3	20.104	406.761	100 VA

Fonte: Autora.

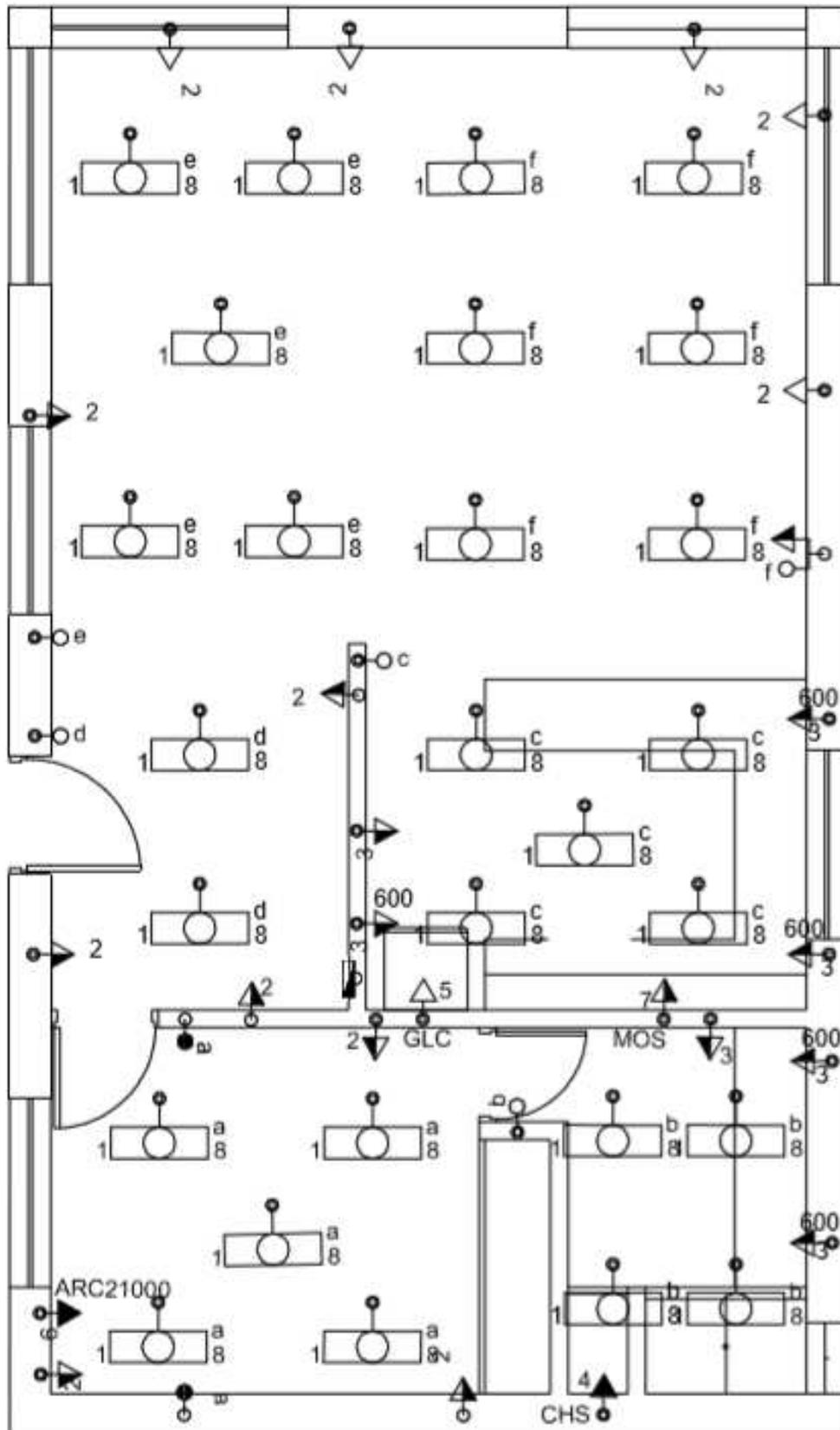
Por questões de espaço, o cálculo não será reproduzido aqui, mas apesar de longo, é facilmente realizado com as Equações 1 e 2.

Para as coordenadas e potências discriminadas acima, o resultado do centro de carga em termos de coordenadas foi  $X=415,25$   $Y=390,952$ , localizado em um ponto na parede inferior da cozinha, o que já era esperado uma vez que os pontos de cargas com maior potência, estão localizados no banheiro, quarto e cozinha, com carga mais alta (chuveiro elétrico, condicionador de ar e micro-ondas), o que tende a aproximar o quadro desses lugares.

Porém, como já abordado anteriormente, a NBR 5410 preconiza que o quadro de distribuição deve estar em local de fácil acesso, o que descarta a instalação dentro do quarto ou do banheiro, por serem ambientes que frequentemente são trancados. Analisando a planta, percebe-se que o local mais próximo do ponto calculado que não está dentro do banheiro ou quarto é na cozinha, ao lado da geladeira. O quadro poderia ficar nesse local, porém por considerações práticas (em cozinhas é comum precisar usar as paredes para fixar armários) e estéticas (um quadro sobre azulejos, comum em cozinhas, fica mais evidente que numa parede pintada) optou-se por usar o *hall*, na parede que o divide com a cozinha.

Desse modo, a planta passa a ter o quadro e as cargas como mostrado na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Localização do quadro de distribuição e dos pontos de carga.



Fonte: Autora.

### 3.5. Divisão dos circuitos

Os circuitos da instalação foram divididos da seguinte maneira, que não contraria o estipulado pela seção 9.5.3 da NBR 5410 [2] (p. 184, consultar para detalhes):

1. Circuito de iluminação (Fase B);
2. Circuito TUGs áreas secas (Fase A);
3. Circuito TUGs áreas molhadas (Fase A);
4. Chuveiro (Fases A e B);
5. Geladeira (Fase A);
6. Ar condicionado (Fases A e B);
7. Forno micro-ondas (Fases A).

### 3.6. Definição das rotas dos condutores

Uma vez definidas as localizações de todos os pontos de luz e de tomadas e a localização do quadro de distribuição, é possível determinar a rota dos condutores.

Foi definido que, por motivos estéticos, todos os condutos do imóvel estarão embutidos na alvenaria das paredes e do teto.

Serão abordadas duas metodologias de distribuição dos condutos.

#### 3.6.1. Método de linha

Nesta metodologia, os pontos de carga (luminárias e tomadas) são percorridos por um conduto que vai dando voltas de modo a passar por todos os pontos. Comumente o conduto que sai do quadro de distribuição percorre as luminárias do teto de modo sequencial, e delas, quando pertinente, saem outros braços para atender a pontos de carga nas paredes

Na Figura 3.7 se tem a planta da casa tomada de exemplo com uma distribuição por linha. Note que cada conduto proveniente do quadro percorre várias luminárias em sequência. Isso é particularmente visível no conduto que atende às salas de estar e jantar.

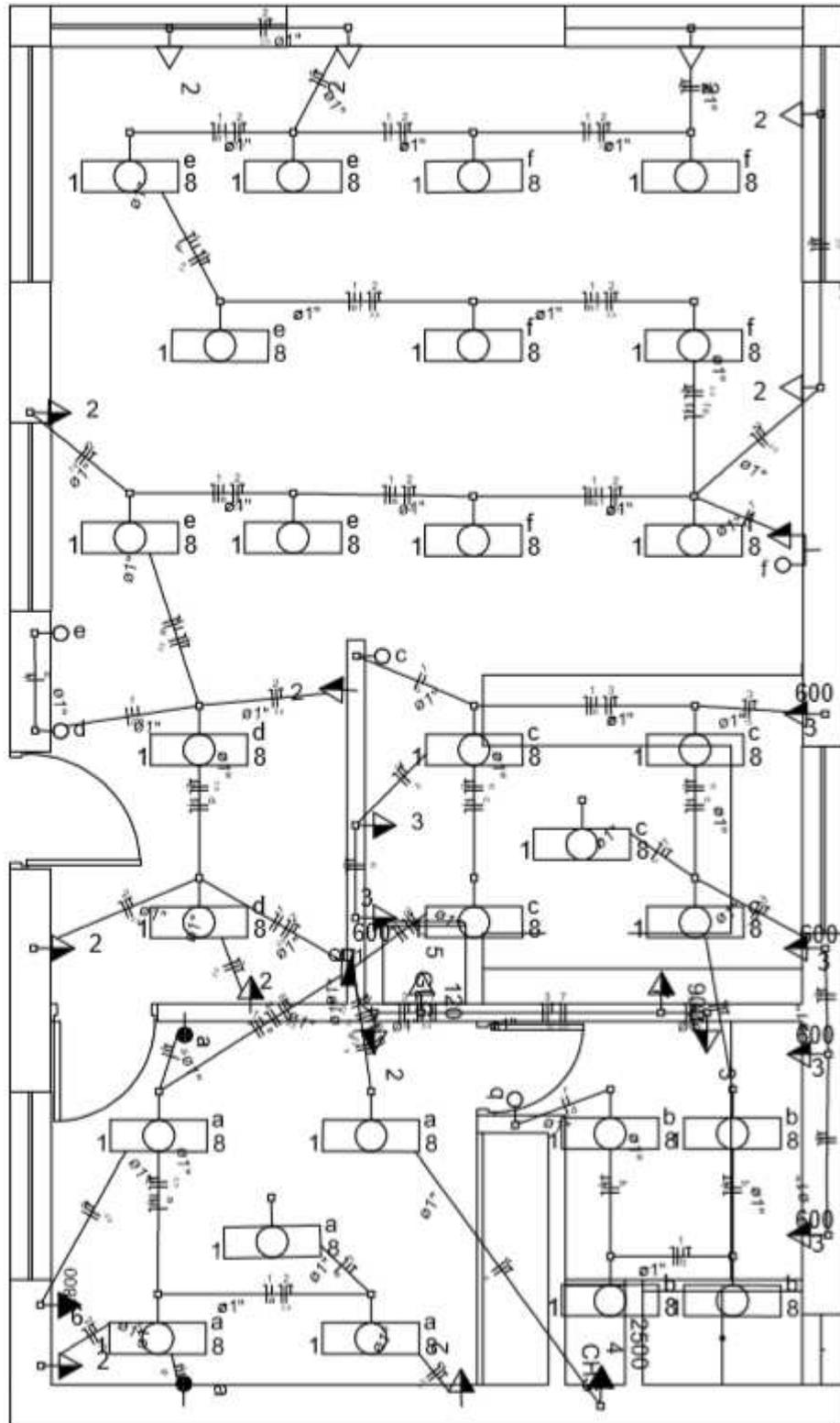
#### 3.6.2. Método de árvores

Nesta metodologia, os condutos se ramificam a partir de algum ponto, de modo semelhante aos galhos de uma árvore. Um braço proveniente do quadro de distribuição se ramifica em outros braços em alguma caixa (de tomada ou luminária) da instalação, e esses braços resultantes, às vezes, também se ramificam novamente.

Na Figura 3.8 se tem a planta da casa tomada de exemplo com uma distribuição por árvore. Note que cada conduto que sai do quadro de distribuição vai até uma luminária e nela existe uma nova redistribuição, com vários condutos saindo dela para atender diferentes pontos. Em alguns casos esses braços são novamente redistribuídos mais à frente. Além disso, alguns

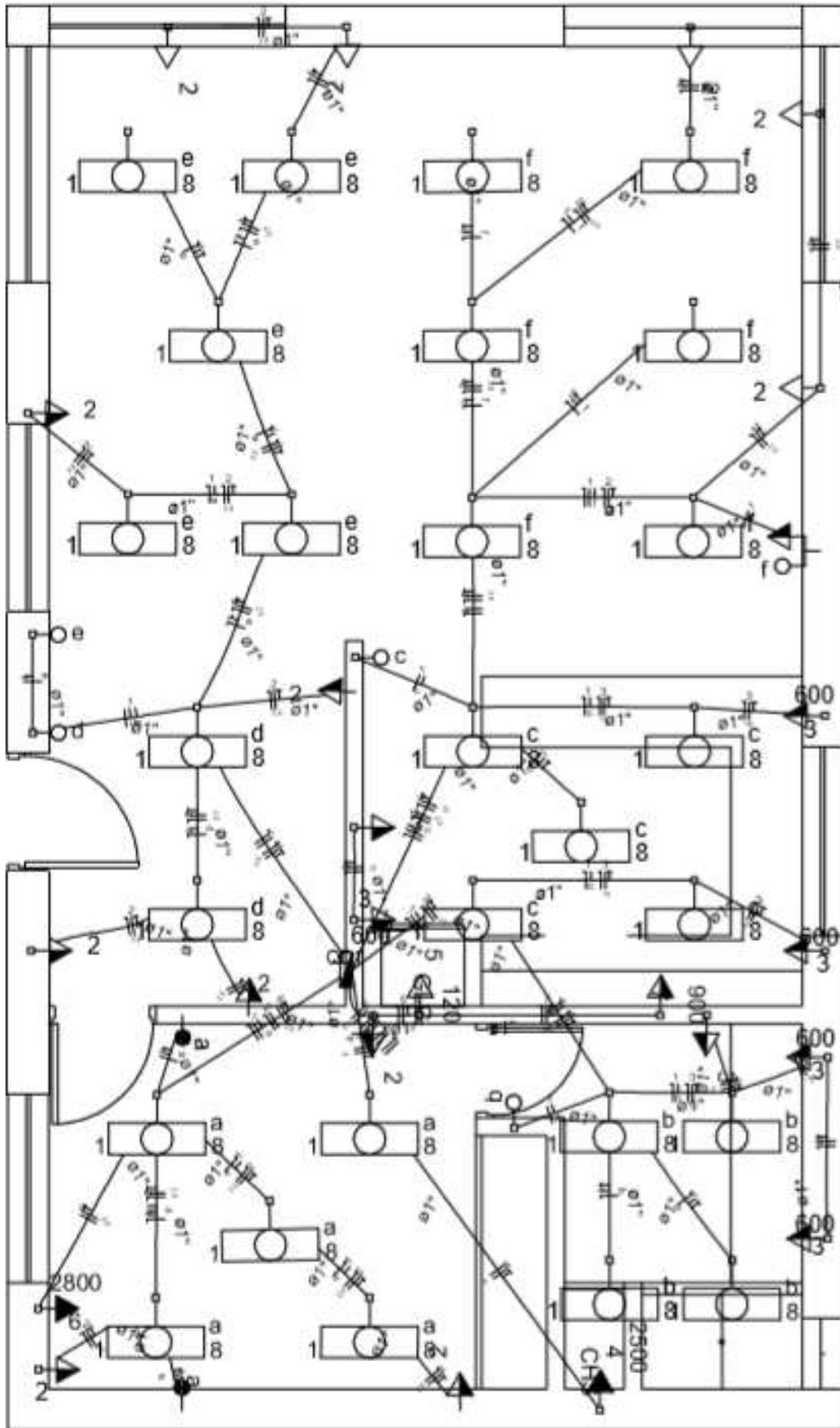
braços atendem dois ou três pontos em sequência (o que é característico do método de linha). Novamente as salas de jantar e estar oferecem uma visão fácil desse processo de distribuição enramado.

Figura 3.7 – Distribuição dos condutos pelo método de linha.



Fonte: Autora.

Figura 3.8 – Distribuição dos condutos pelo método de árvores.



Fonte: Autora.

### 3.7. Dimensionamento dos condutores

O dimensionamento parte do resumo da instalação dado pela Tabela 3.5. Os valores de previsão de carga para iluminação foram considerados conforme a recomendação da NBR 5410 que estipula 100 VA para os primeiros 6 m<sup>2</sup> e 60 VA para cada 4 m<sup>2</sup> inteiros, em vez dos 8W anteriormente considerados. Isso visa deixar o circuito preparado para receber lâmpadas de potências maiores, como as fluorescentes.

A divisão dos circuitos, obviamente, é a mesma já descrita na Seção 3.5.

Tabela 3.5 – Resumo das cargas na instalação.

Ambiente	Tipo	Perímetro (m)	Área (m)	N TU G 600 (VA)	N TUG 100 (VA)	Potência TUG (VA)	Potência TUE (VA)	Previsão de carga de iluminação (VA)
Cozinha	Molhada	13,60	11,47	3	1	1900	1275	160
Sala de Jantar	seca	17,80	19,44	0	4	400	0	280
Sala de Estar	seca	15,10	16,62	0	3	300	0	220
Dormitório	seca	13,40	11,16	0	3	300	3.080	160
Banheiro	Molhada	10,20	6,20	3	0	1800	6000	100
Hall	seca	11,20	7,75	0	3	300	0	100
<i>Total:</i>						5000	10330	1020

Fonte: Autora.

#### 3.7.1. Seção mínima

A seção mínima é definida conforme Tabelas 2.1 e 2.3 (em circuitos trifásicos poderia ser necessária, também, a Tabela 2.2).

Tem-se, portanto, 1,5 mm<sup>2</sup> para iluminação e 2,5 mm<sup>2</sup> para força, para os condutores fase, neutro e de proteção. A instalação é toda em cobre.

Seguindo estas recomendações, a princípio os condutores da instalação teriam as seções discriminadas na Tabela 3.6, independente se usando o método de linha ou de árvore.

Tabela 3.6 – Seção mínima dos condutores para os circuitos, conforme NBR 5410.

	Circuito Um	Circuito Dois	Circuito Três	Circuito Quatro	Circuito Cinco	Circuito Seis	Circuito Sete
<b>Distribuições de linha e de árvore</b>							
<b>Fase A</b>	-	2,5 mm <sup>2</sup>					
<b>Fase B</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	-	-	2,5 mm <sup>2</sup>	-	2,5 mm <sup>2</sup>	-
<b>Neutro</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>					
<b>Proteção</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>					

Fonte: Autora.

### 3.7.2. Capacidade de corrente

Aqui se determina as correntes de projeto para cada circuito.

Para o circuito 1 (de iluminação, cuja carga será a soma das cargas da iluminação de toda a residência), por exemplo, tem-se, conforme equação 3, a seguinte corrente de projeto:

$$I_B = \frac{S}{v} = \frac{1020 \text{ VA}}{127 \text{ V}} = 8,03 \text{ A}$$

Aplicando-se as correções tem-se:

Da Tabela 2.4, considerando uma temperatura ambiente de 30° C, que o valor deve ser corrigido pelo fator 1 — o que implica em não haver correção.

A correção de solo não se aplica — ou seja, fator 1.

A correção por agrupamento leva em consideração o número de condutores nos condutos, devendo ser usado o valor do trecho em que este número for o mais alto. Este valor pode depender da distribuição usada. Por isso será considerado nos dois casos:

Linha (conforme Figura 3.7): há trechos em que o circuito de iluminação divide o conduto com outros dois circuitos, somando três, portanto. Usando a Tabela 42 da NBR 5410, disponível no Anexo II, tem-se que o fator de correção deve ser de 0,70.

Aplicando os três fatores de correção (temperatura, 1; solo, 1 e agrupamento 0,70):

$$\frac{8,03 \text{ A}}{1 \times 1 \times 0,70} = 11,47 \text{ A}$$

Da tabela 36 da NBR 5410, disponível no Anexo I, considerando que o circuito possui dois condutores carregados, conclui-se que a seção mínima para conduzir com segurança essa corrente de projeto corrigida é 1 mm<sup>2</sup> (que suporta até 14 A).

Árvore (conforme Figura 3.8): Há trechos em que o circuito de iluminação divide o conduto com outros dois circuitos, somando três, portanto. Usando a Tabela 42 da NBR 5410, disponível no Anexo II, tem-se que o fator de correção deve ser de 0,70.

Aplicando os três fatores de correção (temperatura, 1; solo, 1 e agrupamento 0,70):

$$\frac{8,03 \text{ A}}{1 \times 1 \times 0,70} = 11,47 \text{ A}$$

Da tabela 36 da NBR 5410, disponível no Anexo I, considerando que o circuito possui dois condutores carregados, conclui-se que a seção mínima para conduzir com segurança essa corrente de projeto corrigida é 1 mm<sup>2</sup> (que suporta até 14 A).

Este processo deve ser repetido com todos os outros seis circuitos da instalação, de onde chega-se à Tabela 3.7:

Tabela 3.7 – Resumo dos cálculos da capacidade de condução de corrente dos circuitos.

	Circuito Um	Circuito Dois	Circuito Três	Circuito Quatro	Circuito Cinco	Circuito Seis	Circuito Sete
<b>Distribuição por linha</b>							
<b>Fase A</b>	-	1,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
<b>Fase B</b>	1 mm <sup>2</sup>	-	-	6 mm <sup>2</sup>		2,5 mm <sup>2</sup>	-
<b>Neutro</b>	1 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
<b>Proteção</b>	1 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
<b>Distribuição por árvore</b>							
<b>Fase A</b>	-	1,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
<b>Fase B</b>	1 mm <sup>2</sup>	-	-	6 mm <sup>2</sup>	-	2,5 mm <sup>2</sup>	-
<b>Neutro</b>	1 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>
<b>Proteção</b>	1 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>

Fonte: Autora.

### 3.7.3 – Queda de tensão

Novamente o resultado difere entre os métodos de linha e árvore, uma vez que o cálculo leva em consideração o comprimento dos condutores.

Como visto anteriormente, a queda de tensão nos circuitos terminais, isto é, nos condutores do quadro de distribuição até os pontos de uso, nunca pode ultrapassar 4% da tensão nominal.

Isto significa que não pode haver uma queda de tensão maior que 5,08 V nos circuitos de 127 V e que 8,8 V nos circuitos de 220 V.

Usando as duas leis de Ohm é possível determinar a queda de tensão no condutor, considerando que este é uma resistência de valor baixo presente no circuito.

$$V = R \times I \text{ onde } R = \frac{\rho \times L}{S} \therefore V = \frac{\rho \times L \times I}{S}$$

Aqui, V é a queda de tensão, em Volt; R a resistência do condutor, em ohm; I a corrente que o percorre, em Ampère;  $\rho$  é a resistividade elétrica do material do condutor (em determinada temperatura), em Ohm-metro; L o comprimento do condutor, em metros e S a seção transversal do condutor, em m<sup>2</sup>.

Isolando S, tem-se:

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{V}$$

Usando esta fórmula é possível calcular a seção mínima que o condutor deve ter para não ultrapassar a queda de tensão definida por V. Ou seja, o valor de S obtido deve ser igual ou menor que o valor da seção nominal do condutor usado.

O projeto considera uma temperatura ambiente de 30° C, na qual o valor de  $\rho$  para o cobre é de  $1,78708 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ .<sup>5</sup>

Aplica-se na fórmula este valor de  $\rho$ , a corrente de projeto, o comprimento total do circuito (do quadro ao último ponto atendido pelo condutor, considerando todo o percurso da corrente — comprimento da fase somado ao comprimento do neutro ou da outra fase) e o valor máximo de queda de tensão permitido (5,08 V nos circuitos monofásicos e 8,8 V nos circuitos bifásicos e trifásicos).

De posse do valor de  $S$  obtido, o condutor de valor comercial a ser usado é aquele cuja seção transversal é igual ou superior ao valor de  $S$ .

Como o valor de  $L$  varia a depender da distribuição usada (linha ou árvore), os cálculos a seguir serão feitos em ambos os casos.

Para o circuito 1 (de iluminação), tem-se:

Comprimento do circuito 1, no método de linha: 25,38 m. Este é a distância, via condutos, do quadro até o ponto mais distante desse circuito. Como se deve considerar o comprimento total do circuito fechado, este valor deve ser dobrado para se obter  $L$  (a corrente percorre 25,38 m pela fase e mais 25,38 m pelo neutro). Portanto,  $L$  é igual 50,76 m.

O circuito é monofásico, portanto a queda de tensão máxima é de 5,08 V. A corrente de projeto, conforme calculado anteriormente, é de 8,03 A.

Aplicando nas leis de Ohm:

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{V} = \frac{1,78708 \times 10^{-8} \times 50,76 \times 8,03}{5,08} = 1,4339 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 1,4339 \text{ mm}^2$$

Portanto o valor mínimo permitido para o condutor seria 1,4339 mm<sup>2</sup> de seção transversal. Como este valor não é comercial, utiliza-se o valor imediatamente superior: 1,5 mm<sup>2</sup>.

Comprimento do circuito 1, no método de árvore: 10,61 m. Este é a distância, via condutos, do quadro até o ponto mais distante desse circuito. Como se deve considerar o comprimento total do circuito fechado, este valor deve ser dobrado para se obter  $L$  (a corrente percorre 10,61 m pela fase e mais 10,61 m pelo neutro). Portanto,  $L$  é igual 21,22 m.

O circuito é monofásico, portanto a queda de tensão máxima é de 5,08 V.

Aplicando nas leis de Ohm:

---

<sup>5</sup> GRIFFITHS, D. **Introduction to Electrodynamics**, 3ª edição, New Jersey: Prentice Hall. 286 p.

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{V} = \frac{1,78708 \times 10^{-8} \times 21,22 \times 8,03}{5,08} = 5,99 \times 10^{-7} \text{ m}^2 = 0,599 \text{ mm}^2$$

Portanto o valor mínimo permitido para o condutor seria 0,599 mm<sup>2</sup> de seção transversal. Como este valor não é comercial, utiliza-se o valor imediatamente superior: 0,75 mm<sup>2</sup>.

Aplicando-se os cálculos em todos os outros circuitos da planta, obtém-se os resultados discriminados na Tabela 3.8:

Tabela 3.8 – Resumo dos cálculos da seção mínima para uma queda de tensão igual ou inferior ao limite de 4% da tensão nominal.

	<b>Circuito Um</b>	<b>Circuito Dois</b>	<b>Circuito Três</b>	<b>Circuito Quatro</b>	<b>Circuito Cinco</b>	<b>Circuito Seis</b>	<b>Circuito Sete</b>
<b>Distribuição por linha</b>							
<b>Fase A</b>	-	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>
<b>Fase B</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	-	-	1 mm <sup>2</sup>	-	0,5 mm <sup>2</sup>	-
<b>Neutro</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>
<b>Proteção</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>
<b>Distribuição por árvore</b>							
<b>Fase A</b>	-	1 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>
<b>Fase B</b>	0,75 mm <sup>2</sup>	-	-	1 mm <sup>2</sup>	-	0,5 mm <sup>2</sup>	-
<b>Neutro</b>	0,75 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>
<b>Proteção</b>	0,75 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>	0,5 mm <sup>2</sup>

Fonte: Autora.

### 3.7.4. Dimensionamento final

Feitas as três análises anteriores, deve-se escolher o maior resultado encontrado. O resultado final do dimensionamento está na Tabela 3.9:

Tabela 3.9 – Seção transversal dos condutores a serem usados.

	<b>Circuito Um</b>	<b>Circuito Dois</b>	<b>Circuito Três</b>	<b>Circuito Quatro</b>	<b>Circuito Cinco</b>	<b>Circuito Seis</b>	<b>Circuito Sete</b>
<b>Distribuição por linha</b>							
<b>Fase A</b>	-	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
<b>Fase B</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	-	-	6 mm <sup>2</sup>	-	2,5 mm <sup>2</sup>	-
<b>Neutro</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
<b>Proteção</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
<b>Distribuição por árvore</b>							
<b>Fase A</b>	-	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
<b>Fase B</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	-	-	6 mm <sup>2</sup>	-	2,5 mm <sup>2</sup>	-
<b>Neutro</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>
<b>Proteção</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>

Fonte: Autora.

### **3.8. Considerações finais**

Neste capítulo realizou-se as etapas de projeto básicas para uma instalação elétrica predial residencial.

Estipulou-se o número de tomadas necessário em cada cômodo do imóvel, respeitando o que é definido pela NBR 5410. Numa segunda etapa, essas tomadas foram de fato distribuídas pelo ambiente, buscando uniformidade e funcionalidade.

Estipulou-se os pontos de luz necessários para fazer com que os níveis de iluminação em cada cômodo respeite as recomendações da NBR 5413, que estipula esses níveis com base no tipo de atividade a ser realizado no ambiente, ponderando, ainda, com relação ao perfil do utilizador.

O melhor lugar do quadro de distribuição foi definido com base nos cálculos realizados com as coordenadas de cada ponto de carga, bem como sua potência nominal. Tal balanceamento visa colocar o quadro o mais próximo possível do centro de cargas, o que provoca um encurtamento proporcional à espessura do condutor na instalação.

Foram realizadas duas metodologias diferentes para distribuição dos condutos pela planta, ligando o quadro de distribuição aos pontos de carga. O dimensionamento dos condutores foi feito, então.

No próximo capítulo serão calculados os custos monetários envolvidos na execução do projeto e na manutenção do sistema de iluminação.

## CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE CUSTOS

### 4.1. Considerações Iniciais

Neste capítulo serão calculados os custos de execução e manutenção do projeto, quando usando diferentes materiais ou metodologias e levado em consideração os preços dos materiais em lojas *online*.

### 4.2. Resultado dos cálculos luminotécnicos aplicados em lâmpadas Incandescentes, halógenas, LED e Fluorescentes.

Como já explicado, o projeto luminotécnico teve seus cálculos todos baseados no uso de um modelo genérico de lâmpada cujo fluxo luminoso emitido é de 1200 lúmens, sem levar em consideração potência ou eficiência de tal lâmpada. Uma vez que mudanças nessa especificação da lâmpada invalida o cálculo feito anteriormente (poderiam ser necessárias mais ou até menos luminárias caso se utilizasse lâmpadas com valores diferentes de fluxo de luz emitido, para manter o mesmo nível de luminosidade desejado no ambiente), e sendo necessário que o número de lâmpadas seja o mesmo em todos os casos a fim de que alguma comparação seja válida, fixou-se esse valor e em função dele foram definidas as potências das lâmpadas, conforme tecnologia. A relação entre potência consumida e luz emitida, ou seja, a eficiência luminosa, vem da Tabela 3.1, que por sua vez foi tirada da referência [8], assim como a vida útil média. Foi usada a média aritmética dos extremos das faixas de eficiência da Tabela 3.1. O preço, assim como a vida útil, foram aproximados com base dos preços médios na loja *online* Leroy Merlin<sup>6</sup>, no dia 24 de novembro de 2018. A Tabela 4.1, portanto, discrimina as lâmpadas que serão comparadas neste capítulo para iluminar a residência que tem tido seu projeto elétrico planejado neste trabalho.

Tabela 4.1 – Características das lâmpadas que serão comparadas.

Lâmpada	Incandescente	Halógena	Fluorescente compacta	LED
<b>Fluxo luminoso (lm)</b>	1200	1200	1200	1200
<b>Potência (W)</b>	96	60	18,46	8,89
<b>Eficiência (lm/W)</b>	12,5	20	65	135
<b>Vida útil média (h)</b>	900	1100	8000	22000
<b>Preço médio (R\$, em nov. 2018)</b>	3,61 <sup>7</sup>	7,29	12,80	14,90

<sup>6</sup> Endereço eletrônico: <<https://www.leroymerlin.com.br>>.

<sup>7</sup> As lâmpadas incandescentes acima de 75W não são vendidas desde junho de 2014. O preço médio de uma lâmpada de 100 W na época era em torno de R\$3,00. Foi aplicado o índice IGP-M (FGV) para correção.

*Fonte: Autora.*

Para o cálculo do consumo de energia são necessárias três variáveis: a potência, o número de horas e os dias de uso. Para isto, multiplica-se a potência conhecida pelo número de horas que a lâmpada ficará ligada e posteriormente pela quantidade de dias de uso.

Recordando os cálculos luminotécnicos feitos anteriormente no projeto modelo, na Seção 3.3, tem-se um total de 27 lâmpadas instaladas na residência.

Para os cálculos será levado em consideração 6 horas de funcionamento diários para cada lâmpada durante um mês de 30 dias.

Para o cálculo do custo mensal, é verificada a tarifa paga por kWh na conta de luz da concessionária CEMIG, sendo que para o mês de novembro de 2018 foi R\$ 0,63684000/kWh, sem impostos<sup>8</sup>. Este valor varia ao longo do ano, conforme bandeiras tarifárias vigentes. Os impostos podem variar em função, inclusive, do próprio consumo.

#### **4.2.1. Incandescente**

Para suprir os níveis de luminosidade exigidos, uma lâmpada incandescente deveria ter, no mínimo, 96 W de potência. Multiplicando esta potência pelo número de horas de uso e dias de uso, tem-se:

$$96 \text{ W} \times 6 \text{ h} \times 30 = 17280 \text{ W/h}$$

As companhias de fornecimento fazem seus cálculos baseados em Quilowatts/hora (kWh), sendo necessário fazer a conversão entre as duas unidades, que é feita pela equivalência entre um quilowatt corresponde a 1000 watts. Resultando em 17,280 kWh.

Para o cálculo do custo mensal, basta multiplicar pelo valor da tarifa (preço do kWh):

$$17,280 \times R\$ 0,63684000 = R\$ 11,00$$

Assim o valor de uma lâmpada incandescente de 96 W ligada seis horas por dia durante um mês seria R\$ 11,00 reais. Para fazer o cálculo de pelo menos 27 lâmpadas do projeto modelo ligadas 6 horas por dia durante o mês:

$$R\$ 11,00 \times 27 = R\$297,00$$

Assim uma residência com 27 lâmpadas incandescentes de 96 W cada gastaria, usando todas por seis horas por dia em um mês, R\$297,00 sem impostos.

---

<sup>8</sup> Disponível em <[https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores\\_de\\_tarifa\\_e\\_servicos.aspx](https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx)>.

#### **4.2.2. Halógena**

Para suprir os níveis de luminosidade exigidos, uma lâmpada halógena deveria ter, no mínimo, 60 W de potência.

Seguindo o mesmo procedimento ilustrado no caso da lâmpada incandescente, tomando o mesmo tempo de uso por dia, tem-se que cada lâmpada consumiria, no mês, 10,8 kWh, ou R\$6,88.

O total de 27 lâmpadas halógenas, portanto, somariam R\$185,70 mensais, sem impostos.

#### **4.2.3. Fluorescente**

Para suprir os níveis de luminosidade exigidos, uma lâmpada fluorescente deveria ter, no mínimo, 18,46 W de potência.

Novamente seguindo o mesmo procedimento de cálculo e considerando as mesmas condições de uso, tem-se o consumo total mensal por lâmpada de 3,32 kWh, ou R\$2,11.

O total de 27 lâmpadas fluorescentes, portanto, somariam R\$57,13 mensais, sem impostos.

#### **4.2.4. LED**

Para suprir os níveis de luminosidade exigidos, uma lâmpada LED deveria ter, no mínimo, 8,89 W de potência.

Mais uma vez seguindo o mesmo procedimento de cálculo e considerando as mesmas condições de uso, tem-se o consumo total mensal por lâmpada de 1,6 kWh, ou R\$1,02.

O total de 27 lâmpadas LED ligadas, portanto, somariam R\$27,51 mensais, sem impostos.

#### **4.2.5. Custo total com iluminação a longo prazo**

A fim de se estipular os gastos totais com iluminação ao longo dos primeiros cinco anos de uso da instalação, é feita uma análise que leva em consideração o investimento inicial, a manutenção e os gastos energéticos ao longo desse período. Os dados usados foram os da Tabela 4.1 e o preço da energia foi considerado o valor da CEMIG, sem impostos, em novembro de 2018 (R\$ 0,63684000/kWh). Foi levado em consideração as 6 horas de funcionamento diários para cada lâmpada para cálculo da energia consumida e do consumo da vida útil estimada, o que significa 10950h de uso para cada lâmpada em 5 anos.

A Tabela 4.2 traz essa comparação.

*Tabela 4.2 – Custos totais com iluminação ao longo de cinco anos usando diferentes tipos de lâmpadas.*

	<b>Incandescente</b>	<b>Halógena</b>	<b>Fluorescente</b>	<b>LED</b>
<b>Custo inicial de 27 lâmpadas</b>	R\$97,47	R\$196,83	R\$345,60	R\$402,30
<b>Número de vezes que as lâmpadas precisam ser substituídas em 5 anos</b>	12	9	1	0
<b>Custo das lâmpadas de substituição<sup>9</sup></b>	R\$1169,64	R\$1771,47	R\$345,60	R\$0,00
<b>Custo energético<sup>10</sup></b>	R\$17820,00	R\$11142,00	R\$3187,80	R\$1650,60
<b>Custo total</b>	R\$19087,11	R\$13110,30	R\$3879,00	R\$2052,90

Fonte: Autora.

### 4.3. Quantidade de condutores e seus custos

O cobre é um mineral relativamente caro, por isso o preço de condutores de cobre, usado em instalações residenciais por serem mais flexíveis e por possuírem seções transversais menores e mais adequadas ao uso em residências, constituem uma parte considerável do total dos custos monetários da parte elétrica de uma obra.

Dessa forma, diminuir ao máximo o comprimento dos condutores, sobretudo dos de maior seção transversal, é uma ação capaz de reduzir significativamente o custo da instalação.

Nesta seção, a quantidade de condutores calculada pelo *software* em que o projeto foi feito, aliada aos resultados da seção transversal dos cabos calculados no capítulo anterior, será usada para determinar os custos totais da instalação com fios e cabos.

O preço dos cabos, desconsiderando-se eventuais diferenças devido à cor, foram pesquisados na loja online Leroy Merlin<sup>11</sup> no dia 05 de novembro de 2018, todos de uma mesma marca e todos para o mesmo tipo e tensão de isolamento. O preço varia conforme a seção. Estes preços, que serão usados adiante, são discriminados na Tabela 4.3.

<sup>9</sup> Não foi considerada nenhuma correção monetária para compras futuras.

<sup>10</sup> Sem impostos nem correções monetárias.

<sup>11</sup> Endereço eletrônico: <<https://www.leroymerlin.com.br>>.

Tabela 4.3 – Preço dos condutores usados no projeto.

Seção	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>
<b>Preço da bobina de 100 m</b>	R\$75,90	R\$99,90	R\$186,90	R\$269,90	R\$449,90
<b>Preço calculado do metro</b>	R\$0,759	R\$0,999	R\$1,869	R\$2,699	R\$4,499

Fonte: Autora.

#### 4.3.1. Linha

Na distribuição em linha, retomando a planta da Figura 3.7, tem-se os seguintes comprimentos para cada seção transversal de fio, descritos na Tabela 4.4 (os comprimentos foram calculados diretamente pelo *software* usado no projeto).

Tabela 4.5 – Comprimento e custo dos condutores na distribuição em linha.

Seção	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>
<b>Quantidade usada</b>	194,10 m	228 m	0 m	22 m	72,50 m
<b>Preço da quantidade usada</b>	R\$147,32	R\$227,77	R\$0,00	R\$59,38	R\$326,18
<b>Custo total</b>	R\$760,65				

Fonte: Autora.

#### 4.3.2. Árvore

Na distribuição em árvore, retomando a planta da Figura 3.8, tem-se os seguintes comprimentos para cada seção transversal de fio, descritos na Tabela 4.5 (os comprimentos foram calculados diretamente pelo *software* usado no projeto).

Tabela 4.5 – Comprimento e custo dos condutores na distribuição em árvore.

<b>Seção</b>	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>
<b>Quantidade usada</b>	186,10 m	230,50 m	0 m	22 m	93,10 m
<b>Preço da quantidade usada</b>	R\$141,24	R\$230,27	R\$0,00	R\$59,38	R\$418,85
<b>Custo total</b>	R\$849,74				

*Fonte: Autora.*

#### **4.4. Considerações Finais**

Neste capítulo os custos com iluminação e com condutores foram calculados.

Os custos com iluminação levaram em consideração, inclusive, o custo ao longo de cinco anos.

No próximo capítulo serão feitas algumas considerações a respeito da NBR 5410 e uma de suas recomendações.

## CAPÍTULO V – A NORMA NBR 5410 E AS LÂMPADAS MODERNAS

### 5.1. Considerações iniciais

A NBR 5410 define que os condutores dos circuitos de iluminação devem ter obrigatoriamente, no mínimo, 1,5 mm<sup>2</sup>. Esta recomendação, como visto anteriormente ao longo desse trabalho, muitas das vezes obriga o uso dessa seção transversal mesmo quando os outros requisitos (capacidade de corrente e queda de tensão) permitem o uso de condutores mais finos.

Este breve capítulo visa fazer algumas interpretações dessa recomendação e levantar a hipótese de que essa recomendação poderia ser modificada em futuras atualizações da norma, considerando que a possibilidade de usar fios mais finos que 1,5 mm<sup>2</sup> poderia diminuir ainda mais o custo da instalação elétrica e considerando que atualmente o padrão *de facto* nas residências é o uso de lâmpadas fluorescentes e LED, que requerem baixa corrente elétrica para funcionar.

### 5.2. A norma atual

Em sua seção dedicada ao dimensionamento de condutores, a NBR 5410 [2] estipula que, obrigatoriamente, em instalações fixas, os circuitos de iluminação devem ter no mínimo 1,5 mm<sup>2</sup> de seção transversal, quando usados condutores de cobre.

A própria norma esclarece, em uma nota de rodapé, que esse valor mínimo é definido por razões mecânicas.

No entanto, a mesma norma estipula que circuitos de controle e de sinalização podem ter seção mínima de 0,5 mm<sup>2</sup>. Como circuitos de controle e sinalização, entende-se o cabeamento responsável por interligar equipamentos como relés, contadores, botões de comando e componentes de sinalização sonora e luminosa, usados majoritariamente em indústrias ou fazendas.

Em outra nota de rodapé, a norma declara, ainda, que se o sistema de controle e sinalização for eletrônico (que trabalha com sinais de potência ainda menor), é permitido o uso de condutores de apenas 0,1 mm<sup>2</sup>.

### 5.3. A hipótese

Qualquer que seja o sistema, convencional ou eletrônico, os circuitos de controle e sinalização, assim como os circuitos de força, frequentemente percorrem longas distâncias através de eletrodutos, calhas, caixas de passagem e extensores. E nos sistemas convencionais o nível de tensão, normalmente, é o mesmo do circuito de força (127 V, 220 V ou 380 V).

É questionável, portanto, a alegação de que condutores de cobre de seção inferior a 1,5 mm<sup>2</sup> são mecanicamente incapazes de resistir à instalação, já que a própria norma reconhece que a seção de 0,5 mm<sup>2</sup> pode ser usada para determinadas instalações.

Deve-se considerar, é claro, que na maioria das vezes estes condutores de pequena seção na verdade compõem cabos multipolares, os quais, devido à camada isolante externa, acrescenta resistência mecânica. No entanto, isso não é regra e fios comuns podem ser usados normalmente.

#### **5.4. As dificuldades e as possíveis soluções**

O excesso de flexibilidade de condutores tão finos poderia ser um empecilho para a passagem dentro de condutos embutidos. Uma hipótese para resolução deste problema seria o uso de passa-fio, ferramenta de baixo custo e já amplamente usada para auxiliar na passagem de fios em eletrodutos.

Outro possível impedimento seria a fácil ruptura dos condutores devido a sua baixa espessura. Mas é preciso fazer algumas considerações. A primeira é que, uma vez terminada, uma instalação fixa não-aérea não deveria sofrer qualquer tipo de tração ou vibração intensa, nem por causas naturais como vento, nem por ação humana ou animal. A ruptura depois da instalação pronta, portanto, não deveria ocorrer. O risco de ruptura ou danos na isolação, portanto, se limitaria à execução do projeto (instalação dos condutores). Mas nesse caso também cabe mais algumas considerações. A primeira é que, se a própria NBR 5410 for respeitada, a área total ocupada pelos condutores não poderá ser maior que 40% da área do conduto, o que impede uma pressão elevada nos condutores, que criaria uma resistência grande que pudesse tracionar em excesso o condutor de baixa seção durante o processo de passagem. A segunda consideração é que essa pressão e essa resistência pode ser ainda mais reduzida simplesmente realizando a passagem do condutor de baixa seção antes de qualquer outro.

Caso a instalação seja feita com calhas, isoladores, extensores ou fixadores, as dificuldades acima sequer existem, já que o condutor pode ser instalado diretamente, sem sofrer estresse mecânico.

Vale mencionar, porém, que se está considerando o uso de condutores de baixa espessura em linhas não-aéreas. Nos casos de linhas aéreas, a resistência mecânica é um fator crítico, uma vez que o condutor precisa suportar o próprio peso entre os apoios e, nas instalações externas, é sujeito à tração pelo vento e à ação de pássaros e outros animais. Portanto não seria recomendado usar condutores tão finos nesse caso.

## 5.5. As propriedades elétricas dos condutores de baixa seção

Além da resistência mecânica, obviamente é necessário que o condutor seja capaz de suportar as correntes elétricas que o percorrem.

Novamente a própria NBR 5410 responde a essa questão. Em suas tabelas de capacidade de condução de corrente de condutores, a norma estipula que um condutor de  $0,5 \text{ mm}^2$  é capaz de conduzir entre 9 A e 12 A (a depender do número de condutores carregados do circuito e do tipo de instalação).

Essa capacidade de corrente seria capaz de alimentar equipamentos entre 1143 VA e 1524 VA para a rede de 127 V, entre 1980 VA e 2640 VA para a rede de 220 V e entre 3420 VA e 4560 VA em redes de 380 V. São potências consideráveis, suficiente para diversas lâmpadas alimentadas pelos mesmos condutores, como se verá adiante.

Obviamente, na prática, podem ser necessários fatores de correção que diminuam essa capacidade, assim como uma análise da queda de tensão, em alguns casos, podem descartar a possibilidade de uso. Mas tudo isso é definido pelo projeto, que se for feito cuidadosamente pode oferecer confiabilidade de que um condutor de  $0,5 \text{ mm}^2$  pode ser usado naquela situação. Em resumo, se os cálculos do projeto permitissem, o uso na instalação poderia ser realizado.

## 5.6. As lâmpadas modernas

Um último argumento para defender uma flexibilização do uso de condutores a partir de  $0,5 \text{ mm}^2$  em circuitos de iluminação em instalações elétricas se refere à realidade atual das lâmpadas do mercado.

Com a proibição da fabricação e venda, em território nacional, de lâmpadas incandescentes (excetuando-se as que usam o soquete E14 e E12 — usados apenas em abajures, geladeiras e fogões, que se conectam à rede por circuitos dedicados ou por TUGs, nunca em luminárias e arandelas), as instalações têm, cada vez mais, usado lâmpadas fluorescentes e LED, as quais requerem uma corrente reduzida para funcionamento.

As lâmpadas halógenas seguem sendo vendidas e usadas, e sua corrente é relativamente elevada, porém há uma tendência de diminuição de uso, uma vez que seu custo já não é mais muito inferior às lâmpadas frias e as lâmpadas frias atuais são vendidas em diversas temperaturas de cor e com índices de reprodução de cores elevados. A economia energética é outro estimulante do uso de lâmpadas frias em detrimento das halógenas.

Dessa forma, é possível apostar que em poucos anos o uso de halógenas se limitará a situações específicas (museus, galerias, ou spots direcionais), nas quais seu uso estará previsto já em projeto.

Assim sendo, as instalações de iluminação de “uso genérico” — nas quais não se tem controle rigoroso do tipo de lâmpada que será usado, como o caso da iluminação geral de residências — poderão ser projetadas considerando o uso de lâmpadas fluorescentes, que normalmente têm entre 15 VA e 50 VA de potência. Obviamente, como a potência de lâmpadas LED são ainda menores, estas poderiam ser usadas normalmente no lugar das fluorescentes.

Considerando os casos de não ser necessário o uso de fatores de correção para a capacidade de corrente e desconsiderando eventuais quedas de tensão devido ao comprimento que requeiram o uso de condutores mais espessos, o condutor de 0,5 mm<sup>2</sup>, teoricamente, poderia ser capaz de alimentar entre 22 e 30 lâmpadas fluorescentes de 50 VA (40 W) cada em redes de 127 V, um número considerável para instalações residenciais. Numa rede de 220 V, esse número poderia chegar até a 52 lâmpadas. Em 380 V, o limite poderia ser de até 91 lâmpadas.

## **5.7. Considerações finais**

Neste capítulo fez-se uma breve análise de alguns pontos da NBR 5410, e se convidou à reflexão sobre a possibilidade de uma flexibilização de uma das normativas do documento, de modo a se permitir o uso de condutores mais finos e, conseqüentemente, mais baratos nos circuitos de iluminação.

É evidente que as hipóteses e considerações aqui expostas, por si só, não são capazes de assegurar, por si só, que a atualização possa ser mesmo realizada. É necessário que estudos completos, estatísticas e ensaios, elétricos e mecânicos, sejam realizados antes de se tomar uma decisão definitiva.

O objetivo deste capítulo foi instigar uma investigação aprofundada a respeito do tema.

No próximo e último capítulo, os resultados serão comparados, conclusões serão tomadas e as considerações finais gerais serão feitas.

## CAPÍTULO VI – RESULTADOS E CONCLUSÕES

### 6.1. Considerações iniciais

Neste capítulo os custos da fiação e da iluminação serão comparados. Será definido, também, o quanto seria possível economizar caso a norma permitisse uso de condutores de seção menor que 1,5 mm<sup>2</sup> na iluminação.

Por fim, o encerramento deste trabalho.

### 6.2. O custo com iluminação

Retomando os dados já calculados descritos na Tabela 4.2, se pode realizar algumas considerações a respeito do resultado.

Na Tabela 6.1 tem-se a comparação percentual dos gastos iniciais com a aquisição de lâmpadas. A referência foi o gasto com incandescentes. As lâmpadas LED podem custar mais que quatro vezes mais que as lâmpadas incandescentes, e mais que o dobro que as halógenas. Este é um fator impeditivo para muitas famílias.

*Tabela 6.1 – Comparação dos gastos com aquisição inicial de lâmpadas.*

	Incandescente	Halógena	Fluorescente	LED
Preço	R\$97,47	R\$196,83	R\$345,60	R\$402,30
Percentual em relação à incandescente	100 %	201%	354,5%	412,7%

*Fonte: Autora.*

Na tabela 6.2, porém, é possível certificar-se que o consumo energético da lâmpada LED é disparadamente o menor, inferior a 10% do consumo das incandescentes. Em cinco anos, a economia chega a R\$16169,40.

*Tabela 6.2 – Comparação dos gastos com energia elétrica ao longo de cinco anos.*

	Incandescente	Halógena	Fluorescente	LED
Preço	R\$17820,00	R\$11142,00	R\$3187,80	R\$1650,60
Percentual em relação à incandescente	100 %	64,6%	19,2%	9,26%

*Fonte: Autora.*

Na Tabela 6.3 se tem uma comparação dos custos totais em cinco anos, conspirando a aquisição inicial das lâmpadas, a quantidade de energia consumida ao longo de cinco anos e os custos com trocas de lâmpadas que deixaram de funcionar. Considerando todas as variáveis,

ainda assim a LED é a mais vantajosa de todas, com uma economia de quase 90% em relação a incandescente e de cerca de 50% se comparada com a fluorescente

*Tabela 6.3 – Comparação dos gastos ao longo de cinco anos, considerando energia, manutenção e investimento inicial com lâmpadas.*

	Incandescente	Halógena	Fluorescente	LED
Preço	R\$19087,11	R\$13110,30	R\$3879,00	R\$2052,90
Percentual em relação à incandescente	100 %	70,6%	21,58%	10,76%

*Fonte: Autora.*

### 6.3. O custo com condutores

Retomando, agora, os dados já calculados descritos na Tabela 4.4 e 4.5, se pode realizar algumas considerações a respeito do resultado.

A comparação dos gastos materiais em cada método é descrito na Tabela 6.4.

*Tabela 6.4 – Comparação do custo material com as diferentes metodologias de distribuição dos condutores.*

	Linha	Árvore
<b>Preço total</b>	R\$760,65	R\$849,74
<b>Diferença monetária</b>	R\$89,09	
<b>Diferença percentual</b>	11,71%	

*Fonte: Autora.*

Observa-se que o método de linha teve um custo inferior ao obtido no método de árvore. A diferença foi de R\$89,09, ou de 11%.

### 6.4. Custo com condutores para iluminação numa eventual atualização da norma

É preciso retomar agora, mais uma vez, a Seção 3.7 deste trabalho, que trata do dimensionamento dos condutores. Pela análise de capacidade de corrente, em ambas as metodologias seria possível empregar condutores de 1 mm<sup>2</sup>. No entanto, na análise da queda de tensão, o método de linhas requer os 1,5 mm<sup>2</sup> já usados.

Desse modo, a única possibilidade de usar condutores mais finos que 1,5 mm<sup>2</sup> seria empregando a metodologia de árvore. Nesse caso, seria necessário respeitar o limite definido pelo cálculo da capacidade de condução de corrente, e o fio a ser usado seria de 1 mm<sup>2</sup>. Um cabo de 1 mm<sup>2</sup>, na mesma loja em que foi feita a cotação anterior, custa R\$56,99 o rolo de 100 metros, ou R\$0,569/m.

Dessa forma, se fará uma análise de uma possível redução de custos que ocorreria na metodologia de árvore caso a norma permitisse o uso de condutores de 1 mm<sup>2</sup>. Isto é feito na Tabela 6.5.

*Tabela 6.5 – Comparação de custos usado fiação de 1mm<sup>2</sup> e 1,5 mm<sup>2</sup>*

<b>Árvore</b>		
<b>Quantidade de fios</b>	186,10 m	
<b>Seção</b>	1,5 mm <sup>2</sup> (R\$0,756/m)	1 mm <sup>2</sup> (0,569/m)
<b>Preço</b>	R\$141,24	R\$105,89
<b>Diferença monetária</b>	R\$35,35	
<b>Diferença percentual</b>	33,38	

*Fonte: Autora.*

Como se pode ver, seria possível, nessa planta, economizar mais de 30% no custo dos condutores do circuito de iluminação.

## **6.5. Sugestões para trabalhos futuros**

A principal sugestão para continuidade deste trabalho é uma análise profunda e multidisciplinar para definir se as hipóteses levantadas no capítulo V estão corretas e a norma NBR 5410 poderia mesmo permitir o uso de condutores mais finos para iluminação.

Outra sugestão se refere a investigar outras maneiras de diminuir os custos de uma instalação, procurando metodologias ou alternativas materiais também para outros componentes da instalação.

## **6.6. Considerações finais**

O presente trabalho objetivava investigar a possibilidade de reduzir custos de uma instalação por meio da escolha de determinados tipos de materiais ou de metodologias usadas na execução. Confirmou-se que uma distribuição em linha é capaz sim de reduzir os custos com condutores, quando comparado a uma distribuição em árvore. A diferença, no entanto, é discreta e talvez, em outras plantas, a lógica se inverta. É preciso uma investigação matemática melhor de modo a se obter resultados mais concretos com relação a esse tema.

Verificou-se também que se pode ter, a longo prazo, uma economia muito considerável usando-se lâmpadas LED, ainda que estas sejam mais caras e requeiram um investimento inicial maior. Contudo, ao longo do tempo, a economia de energia e a baixa necessidade de troca acabam compensando o investimento e ao fim se tem uma economia maior mesmo que aquela oferecida pelas lâmpadas fluorescentes.

Para as famílias de baixa renda que não conseguem comprar todas as lâmpadas frias de uma vez, em virtude do preço, podem, dentro de suas condições, num primeiro momento comprar somente as de maior uso LED ou fluorescente, e halógenas nos lugares com menos uso. À medida que as halógenas forem deixando de funcionar, um processo gradual, podem ser substituídas pelas lâmpadas frias, preferencialmente LED, de modo que a longo prazo todas as lâmpadas passem a ser LED, sem precisar do investimento inicial muito grande.

É preciso salientar, porém, que este trabalho, em seus cálculos, considerou um uso de iluminação simplificado que considera que todas as lâmpadas da residência ficaram acesas seis horas diariamente, ao longo de cinco anos. Isso é dificilmente observado na prática, já que normalmente uma parte considerável das lâmpadas de uma residência permanece ligada apenas alguns minutos por dia, enquanto outras podem facilmente ultrapassar as seis horas. Além disso, o uso tende a variar ao longo do ano (luz do dia), da semana (fim de semana ou dia útil). Provavelmente, na prática, os custos com energia e troca de lâmpadas seriam menores que os aqui definidos. A diferença percentual, contudo, permanece.

Por fim, fez-se algumas considerações a respeito da seção mínima dos condutores de circuitos de iluminação definidos pela NBR 5410. Supondo estarem corretas as hipóteses levantadas, a possibilidade de usar condutores mais finos, comprovadamente, diminui um pouco o preço da instalação elétrica, o que tem um efeito positivo tanto social (redução do custo de habitação) quanto ambiental (menos cobre e petróleo necessários).

Este projeto cumpriu todos os objetivos a que se propôs.

## REFERÊNCIAS

- [1] CREDER, H.; “**Instalações Elétricas**”, 14ª edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, 2004.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR-5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. 209 p. Rio de Janeiro, 2004.
- [3] LEON, M.; **Eficiência em Instalações Elétricas Residenciais Considerando o Novo Ambiente de Medição de Consumo**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica. Pontifícia Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. 2016.
- [4] SAVIANI, Nereide. **Gestão Eficiente de Projetos de Instalações Elétricas para Edificações**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Sistemas de Engenharia) – Centro de Engenharia e Computação. Pontifícia Universidade Católica, Petrópolis.
- [5] LAMBERTS, R. Luciano Dutra e Fernando O. R. Pereira. **Eficiência Energética na Arquitetura**”, 3ª edição.
- [6] **A evolução da norma-mãe das instalações de baixa tensão**. 2011. <<https://www.osestoreletrico.com.br/a-evolucao-da-norma-mae-das-instalacoes-de-baixa-tensao/>>. Disponível em 30 nov. 2018.
- [7] BISPO, M. S., et *all*. **Localização do quadro de distribuição de carga em instalações elétricas através do cálculo do centro de massa**. Caderno de Graduação, Aracaju, ano XXXIIV, n. 391, p. 210-211, outubro 2006.
- [8] ANDRADE, Ariel Cezar. **Projeto luminotécnico e estudo de gerenciamento energético baseado em diferentes tecnologias de lâmpadas - estudo de caso de um apartamento residencial**. 2017. 84 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR5413 – Iluminância de Interiores**. 1992. Rio de Janeiro.
- [10] KAWASAKI, J. **Métodos de cálculo luminotécnico**. Revista O setor elétrico.
- [11] **Lâmpadas incandescentes deixam o mercado nacional no dia 1º de julho**. G1 Notícias. São Paulo. 2016. <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2016/06/comeca-valer-na-6-proibicao-de-venda-de-lampadas-incandescentes.html>>. Disponível em 30 nov. 2018.
- [12] FREITAS, P. C. F.; **Lâmpadas elétricas e luminotécnica**. Universidade Federal de Uberlândia. 2006.



## ANEXO I

**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)
<b>Cobre</b>												
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
<b>Alumínio</b>												
16	48	43	44	41	60	53	54	48	66	59	62	52
25	63	57	58	53	79	70	71	62	83	73	80	66
35	77	70	71	65	97	86	86	77	103	90	96	80
50	93	84	86	78	118	104	104	92	125	110	113	94
70	118	107	108	98	150	133	131	116	160	140	140	117
95	142	129	130	118	181	161	157	139	195	170	166	138
120	164	149	150	135	210	186	181	160	226	197	189	157
150	189	170	172	155	241	214	206	183	261	227	213	178
185	215	194	195	176	275	245	234	208	298	259	240	200
240	252	227	229	207	324	288	274	243	352	305	277	230
300	289	261	263	237	372	331	313	278	406	351	313	260
400	345	311	314	283	446	397	372	331	488	422	366	305
500	396	356	360	324	512	456	425	378	563	486	414	345
630	456	410	416	373	592	527	488	435	653	562	471	391
800	529	475	482	432	687	612	563	502	761	654	537	446
1 000	607	544	552	495	790	704	643	574	878	753	607	505

Fonte: NBR 5410.

## ANEXO II

**Tabela 42 — Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única**

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

## NOTAS

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

Fonte: NBR 5410.