



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

YANN BRUNO ANDRADE MELLO

GERAÇÃO DE MEMORIAIS DE CÁLCULO ELÉTRICO RESIDENCIAL VIA
AGENTES LLM E RAG: UMA ABORDAGEM BASEADA NA NBR 5410

FORTALEZA

2026

YANN BRUNO ANDRADE MELLO

GERAÇÃO DE MEMORIAIS DE CÁLCULO ELÉTRICO RESIDENCIAL VIA AGENTES
LLM E RAG: UMA ABORDAGEM BASEADA NA NBR 5410

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Dalton Honório de
Araújo

Coorientador: Prof. Me. Paulo Honório
Filho

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M482g Mello, Yann Bruno Andrade.
GERAÇÃO DE MEMORIAIS DE CÁLCULO ELÉTRICO RESIDENCIAL VIA AGENTES LLM E RAG
: UMA ABORDAGEM BASEADA NA NBR 5410 / Yann Bruno Andrade Mello. – 2026.
107 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2026.
Orientação: Prof. Dr. Dalton Honório de Araújo.
Coorientação: Prof. Me. Paulo Honório Filho.

1. Inteligência Artificial. 2. Projeto Elétrico Residencial. 3. NBR 5410. 4. Modelos de Linguagem. 5.
RAG. I. Título.

CDD 621.3

YANN BRUNO ANDRADE MELLO

GERAÇÃO DE MEMORIAIS DE CÁLCULO ELÉTRICO RESIDENCIAL VIA AGENTES
LLM E RAG: UMA ABORDAGEM BASEADA NA NBR 5410

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Dalton Honório de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Paulo Honório Filho (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ronny Glauber de Almeida Cacao
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, por sempre acreditar em mim e investir nos meus sonhos, especialmente à minha mãe, cujo cuidado e dedicação foram, em muitos momentos, a esperança necessária para seguir em frente, e ao meu pai, cuja presença sempre representou segurança e a certeza de que nunca estive sozinho nessa caminhada. Dedico também este trabalho à minha noiva, que esteve ao meu lado em todos os momentos, apoiando-me, incentivando-me e acreditando nos meus sonhos, percorrendo comigo toda essa trajetória. Por fim, dedico este trabalho à minha avó, in memoriam, que teve um papel fundamental na minha criação, cujos ensinamentos e amor levo comigo, e que, tenho certeza, estaria muito orgulhosa ao ver onde cheguei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me guiado, concedido saúde e forças para concluir esta etapa, e por ter estado comigo durante toda a minha vida.

À minha família, meu alicerce. Ao meu pai, por ser minha fonte de inspiração constante. À minha mãe, por todo o carinho e cuidado que sempre me dedicaram. Aos meus irmãos, que sempre me apoiaram e torceram pelo meu sucesso. Um agradecimento especial à Dorinha, figura extremamente importante na minha criação, e à memória de minha avó, que foi essencial na minha formação e que, com certeza, estaria feliz em ver onde seu neto chegou.

À minha noiva Maria Eduarda, minha maior fonte de inspiração. Obrigado por ter me suportado, me apoiado e caminhado ao meu lado em todas as etapas importantes da minha vida até agora, inclusive superando juntos mais este desafio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dalton Honório de Araújo, e ao meu coorientador, Prof. Me. Paulo Honório Filho, por todo o suporte, apoio e incentivo fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e pelas contribuições valiosas para a melhoria deste trabalho.

Aos amigos que a universidade me presenteou, pela amizade, pelas risadas, e pelas horas de estudo e dificuldades compartilhadas. Em especial a Gabriel, Rufino, Livia e Kevyn, pela companhia leal desde o primeiro semestre do curso.

Aos amigos que fiz durante o intercâmbio, pela parceria inestimável. Sei que levarei vocês para toda a vida: Diego, Henrique, Tiago, David, Brasilino, Zé, Lorenzon, Cilla, Kevin e Reis.

Aos projetos de extensão que foram fundamentais na minha formação pessoal e profissional: o PET Engenharia Elétrica, o Ramo Estudantil IEEE e o SIGHT UFC.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao seu corpo docente, onde pude adquirir os conhecimentos que tenho hoje e que me proporcionaram a base para ser quem sou.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa BRAFITEC, que viabilizou a realização do meu intercâmbio na França, permitindo a realização de um sonho e uma experiência cultural e acadêmica imensurável.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação de um agente baseado em Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs) e Recuperação Aumentada por Busca (RAG) para auxiliar no dimensionamento inicial de projetos elétricos residenciais de baixa tensão. A metodologia proposta integra a interação em linguagem natural e a interpretação de plantas baixas com rotinas determinísticas de cálculo, assegurando a conformidade com a norma ABNT NBR 5410 e diretrizes de concessionárias locais. O sistema foi estruturado para realizar o levantamento de cargas, a divisão de circuitos terminais, o dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção, e a definição do padrão de fornecimento, gerando automaticamente um memorial de cálculo auditável. A validação foi conduzida por meio de estudos de caso baseados em exercícios didáticos de engenharia, demonstrando que o agente é capaz de produzir resultados consistentes, normativamente conformes e eletricamente coerentes, oferecendo uma ferramenta eficaz para o aumento da produtividade na etapa preliminar de projetos elétricos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Projeto Elétrico Residencial. NBR 5410. Modelos de Linguagem. RAG.

ABSTRACT

This work presents the development and validation of an agent based on Large Language Models (LLMs) and Retrieval-Augmented Generation (RAG) to assist in the initial sizing of low-voltage residential electrical projects. The proposed methodology integrates natural language interaction and floor plan interpretation with deterministic calculation routines, ensuring compliance with the ABNT NBR 5410 standard and local utility guidelines. The system was structured to perform load forecasting, terminal circuit division, conductor and protection device sizing, and supply pattern definition, automatically generating an auditable calculation report. Validation was conducted through case studies based on didactic engineering exercises, demonstrating that the agent is capable of producing consistent, normatively compliant, and electrically coherent results, offering an effective tool for increasing productivity in the preliminary stage of electrical projects.

Keywords: Artificial Intelligence. Residential Electrical Design. NBR 5410. Large Language Models. RAG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arquitetura básica de um sistema RAG	30
Figura 2 – Ciclo de raciocínio e ação no padrão ReAct	32
Figura 3 – Interação entre o LLM e ferramentas externas	32
Figura 4 – Fluxo metodológico do agente para projeto elétrico residencial	35
Figura 5 – Recorte do fluxo metodológico: aquisição de informações e consolidação do escopo	37
Figura 6 – Detalhe do fluxo: entrada por conversação em linguagem natural	38
Figura 7 – Detalhe do fluxo: entrada por imagem da planta baixa	39
Figura 8 – <i>Pipeline</i> de dimensionamento do projeto elétrico	43
Figura 9 – Planta baixa do Estudo de Caso 1	54
Figura 10 – Planta baixa do Estudo de Caso 2	55
Figura 11 – Planta baixa do Estudo de Caso 3	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espaço mínimo destinado à reserva em quadros de distribuição	25
Tabela 2 – Regras mínimas de previsão de TUG por tipo de ambiente e potência atribuída	45
Tabela 3 – Dimensões, áreas e perímetros dos ambientes do projeto	54
Tabela 4 – Ambientes e dimensões do Estudo de Caso 2	55
Tabela 5 – Ambientes e dimensões do Estudo de Caso 3	56
Tabela 6 – Cargas mínimas de iluminação (Estudo de caso 1)	57
Tabela 7 – Cargas mínimas de TUG (Estudo de caso 1)	58
Tabela 8 – Cargas mínimas de iluminação (Estudo de caso 2)	58
Tabela 9 – Cargas mínimas de TUG (Estudo de caso 2)	58
Tabela 10 – Cargas mínimas de iluminação (Estudo de caso 3)	59
Tabela 11 – Cargas mínimas de TUG (Estudo de caso 3)	59
Tabela 12 – Divisão em circuitos (Estudo de caso 1)	60
Tabela 13 – Divisão em circuitos (Estudo de caso 2)	60
Tabela 14 – Divisão em circuitos (Estudo de caso 3)	61
Tabela 15 – Seções dos condutores (Estudo de caso 1)	62
Tabela 16 – Dimensionamento dos disjuntores (Estudo de caso 1)	62
Tabela 17 – Seções dos condutores (Estudo de caso 2)	62
Tabela 18 – Dimensionamento dos disjuntores (Estudo de caso 2)	63
Tabela 19 – Seções dos condutores (Estudo de caso 3)	63
Tabela 20 – Dimensionamento dos disjuntores (Estudo de caso 3)	63
Tabela 21 – Tipo de fornecimento e proteção geral (síntese)	64
Tabela 22 – Comparativo geral dos estudos de caso	64
Tabela 23 – Resultado da validação (síntese)	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BT	Baixa Tensão
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
DR	Diferencial Residual
FP	Fator de Potência
IA	Inteligência Artificial
LLM	<i>Large Language Model</i> (Modelo de Linguagem de Grande Escala)
NBR	Norma Brasileira
PE	Condutor de Proteção (<i>Protective Earth</i>)
PLN	Processamento de Linguagem Natural
PVC	Policloreto de Vinila
RAG	<i>Retrieval-Augmented Generation</i> (Recuperação Aumentada por Busca)
TUE	Tomada de Uso Específico
TUG	Tomada de Uso Geral
UFC	Universidade Federal do Ceará
VA	Volt-Ampere

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Motivação	18
1.2	Objetivos	18
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	18
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.3	Metodologia	19
1.4	Delimitação do escopo	19
1.5	Estrutura do trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Instalações elétricas residenciais e memorial de cálculo	20
2.1.1	<i>Objetivo do projeto elétrico em Baixa Tensão (BT)</i>	20
2.1.2	<i>O que é memorial e por que ele é útil</i>	21
2.2	Norma ABNT NBR 5410: previsão de cargas mínimas	21
2.2.1	<i>Iluminação (regras por área)</i>	22
2.2.2	<i>Tomadas de uso geral (TUG)</i>	22
2.2.2.1	<i>Banheiros</i>	22
2.2.2.2	<i>Cozinhas, copas, áreas de serviço e locais semelhantes</i>	22
2.2.2.3	<i>Salas e dormitórios</i>	23
2.2.2.4	<i>Demais cômodos e dependências</i>	23
2.2.3	<i>TUE e circuitos dedicados</i>	23
2.3	Divisão em circuitos terminais (NBR 5410 + boas práticas)	23
2.3.1	<i>Separação entre iluminação e TUG</i>	23
2.3.2	<i>Exclusividade para cozinha, área de serviço e TUE</i>	24
2.3.3	<i>Limites típicos por circuito (boas práticas)</i>	24
2.3.4	<i>Circuitos de reserva</i>	24
2.4	Dimensionamento de condutores e proteções (NBR 5410)	25
2.4.1	<i>Corrente de projeto, ampacidade e seção mínima</i>	25
2.4.1.0.1	<i>Corrente de projeto (I_B):</i>	25
2.4.1.0.2	<i>Ampacidade (I_Z):</i>	25
2.4.1.0.3	<i>Seção mínima:</i>	26

2.4.2	<i>Critério de coordenação: $I_B \leq I_N \leq I_Z$</i>	26
2.4.3	<i>Condutores de Proteção (PE) e Neutro</i>	26
2.4.3.0.1	<i>PE (Terra):</i>	26
2.4.3.0.2	<i>Neutro:</i>	27
2.4.4	<i>Hipóteses adotadas no escopo (220 V, B1, PVC)</i>	27
2.5	Tipo de fornecimento e diretrizes da concessionária (ET-124 / ENEL Ceará)	27
2.5.1	<i>Enquadramento do fornecimento pela potência instalada</i>	27
2.5.2	<i>Impactos do tipo de fornecimento no projeto</i>	27
2.6	Inteligência Artificial e Modelos de Linguagem (LLM)	28
2.6.1	<i>Arquitetura Transformer e Mecanismo de Atenção</i>	28
2.6.2	<i>Pré-treinamento e Ajuste Fino (Fine-Tuning)</i>	28
2.6.3	<i>Limitações: Alucinações e Janela de Contexto</i>	29
2.7	Recuperação Aumentada por Busca (RAG)	29
2.7.1	<i>Conceito e Comparação com Fine-Tuning</i>	30
2.7.2	<i>Implementação Prática: Indexação, Recuperação e Geração</i>	30
2.8	Agentes Inteligentes e Sistemas Autônomos	31
2.8.1	<i>O Padrão ReAct (Reasoning + Acting)</i>	31
2.8.2	<i>Confiabilidade e Controle: Ferramentas Determinísticas</i>	32
2.9	Síntese do capítulo	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	Aquisição das informações do projeto e consolidação do escopo	36
3.1.1	<i>Entrada por conversação em linguagem natural</i>	37
3.1.2	<i>Entrada por imagem da planta baixa</i>	39
3.1.3	<i>Estruturação do modelo do imóvel e regras de consistência</i>	40
3.1.4	<i>Critério de encerramento da etapa (escopo “fechado”)</i>	40
3.2	Modelo normativo e estratégia de aplicação	41
3.2.1	<i>Formalização das regras normativas</i>	41
3.2.2	<i>Organização do pipeline de dimensionamento</i>	42
3.2.3	<i>Premissas e limites de escopo adotados</i>	43
3.3	Pipeline de dimensionamento do projeto elétrico	43
3.3.1	<i>Previsão de carga de iluminação</i>	44
3.3.2	<i>Previsão de tomadas de uso geral</i>	44

3.3.3	<i>Tomadas de uso específico - TUE e circuitos dedicados</i>	45
3.3.4	<i>Divisão da instalação em circuitos terminais</i>	46
3.3.4.1	<i>Regra para determinação do número de circuitos</i>	46
3.3.5	<i>Previsão de circuitos reserva</i>	47
3.3.6	<i>Dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção</i>	48
3.3.7	<i>Balanceamento de fases</i>	48
3.3.8	<i>Verificação final e retorno para correções</i>	48
3.4	Geração do memorial de cálculo e organização da documentação do projeto	48
3.4.1	<i>Organização do memorial</i>	49
3.4.2	<i>Rastreabilidade entre método e documento</i>	50
3.5	Estratégia de validação da metodologia	51
3.5.1	<i>Base de referência e dados utilizados</i>	51
3.5.2	<i>CrITÉRIOS de avaliação e equivalência aceitável</i>	51
4	RESULTADOS	53
4.1	Estudos de caso e dados de entrada	53
4.1.1	<i>Estudo de caso 1</i>	53
4.1.2	<i>Estudo de caso 2</i>	54
4.1.3	<i>Estudo de caso 3</i>	54
4.1.4	<i>Premissas gerais adotadas nos três estudos de caso</i>	55
4.2	Previsão de cargas mínimas por ambiente	57
4.2.1	<i>Estudo de caso 1</i>	57
4.2.2	<i>Estudo de caso 2</i>	58
4.2.3	<i>Estudo de caso 3</i>	59
4.3	Divisão em circuitos terminais	59
4.3.1	<i>Estudo de caso 1</i>	60
4.3.2	<i>Estudo de caso 2</i>	60
4.3.3	<i>Estudo de caso 3</i>	60
4.4	Dimensionamento dos circuitos	61
4.4.1	<i>Estudo de caso 1</i>	61
4.4.2	<i>Estudo de caso 2</i>	62
4.4.3	<i>Estudo de caso 3</i>	62
4.5	Determinação do tipo de fornecimento e proteção geral	64

4.6	Síntese comparativa dos estudos de caso	64
4.7	Discussão e validação dos resultados	64
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	67
5.1	Conclusões	67
5.2	Contribuições do trabalho	68
5.3	Limitações	68
5.4	Trabalhos futuros	69
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICES	72
	APÊNDICE A – Memorial de cálculo (Estudo de Caso 1)	72
	APÊNDICE B – Memorial de cálculo (Estudo de Caso 2)	86
	APÊNDICE C – Memorial de cálculo (Estudo de Caso 3)	100

1 INTRODUÇÃO

O projeto de instalações elétricas residenciais de baixa tensão é uma atividade técnica que combina requisitos de segurança, critérios normativos e decisões de engenharia com impacto direto na confiabilidade e na manutenção da instalação. Mesmo quando o escopo é considerado “inicial” (por exemplo, a previsão de cargas mínimas, a organização de circuitos terminais e o dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção), o processo envolve uma sequência de passos interdependentes, nos quais pequenas inconsistências podem gerar retrabalho ou decisões incoerentes ao longo do documento final.

Um produto central desse processo é o *memorial de cálculo*, documento que registra as premissas adotadas, os critérios utilizados e os resultados obtidos em cada etapa de dimensionamento. Além de apoiar a comunicação técnica entre projetista, execução e fiscalização, o memorial é útil por tornar explícita a lógica das decisões: por que determinado circuito foi criado, por que uma seção foi escolhida, ou por que o tipo de fornecimento se enquadra em um padrão específico. Na prática, entretanto, a elaboração do memorial frequentemente se apoia em procedimentos manuais, consulta pontual a normas e uso de planilhas e modelos pré-formatados, o que aumenta o dispêndio de tempo na etapa preliminar e favorece inconsistências de rastreabilidade, como ocorre quando um valor é alterado e a justificativa textual não é atualizada.

No Brasil, a ABNT NBR 5410 estabelece requisitos mínimos e critérios de segurança para instalações elétricas de baixa tensão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), incluindo regras objetivas para previsão de cargas e pontos de utilização, bem como diretrizes associadas à organização de circuitos. Adicionalmente, diretrizes de concessionárias influenciam decisões como o tipo de fornecimento, limites de potência instalada e exigências de entrada de energia. Assim, mesmo em projetos residenciais, o dimensionamento inicial precisa equilibrar normatividade, consistência elétrica e clareza documental, sob risco de gerar um memorial pouco auditável ou tecnicamente frágil.

Em paralelo, os últimos anos trouxeram um avanço significativo em Modelos de Linguagem de Grande Escala (*Large Language Models*, ou LLMs) e em técnicas de recuperação de informação, ampliando as possibilidades de sistemas capazes de interagir em linguagem natural e apoiar atividades técnicas (NGUYEN; KITTUR, 2025). Esses modelos têm se mostrado eficazes para interpretar instruções, sintetizar textos e auxiliar a navegação em grandes volumes de informação, o que é promissor em atividades de engenharia com alta carga documental.

Apesar desse potencial, o uso direto de LLMs como “motor de cálculo” em problemas

normativos apresenta limitações importantes: (i) a geração probabilística pode produzir respostas convincentes, porém incorretas (alucinações); (ii) o modelo não garante reprodutibilidade de resultados; (iii) há limitações de janela de contexto para inserir integralmente normas e diretrizes; e (iv) operações matemáticas e validações formais podem falhar quando tratadas apenas como geração de texto (JI *et al.*, 2023). Em engenharia, essas limitações são especialmente críticas porque o resultado precisa ser justificável, auditável e tecnicamente consistente.

Diante desse cenário, emerge uma lacuna: como aproveitar a capacidade de interação e interpretação dos LLMs, que é útil para levantar requisitos, organizar informações e redigir documentação, sem abrir mão do determinismo exigido pelos cálculos e pelas verificações normativas? Esta questão é particularmente relevante na etapa preliminar de projetos residenciais, em que há muitas regras “mecânicas” (previsões mínimas, critérios de divisão, seleção inicial de condutores e proteções) que podem ser formalizadas e executadas de forma determinística, ao mesmo tempo em que o usuário ou discente tende a fornecer dados em linguagem natural ou de forma incompleta.

A hipótese que orienta este trabalho é que uma arquitetura composta, na qual o LLM atua como camada de interpretação e orquestração, enquanto o cálculo e as checagens são executados por rotinas determinísticas, pode gerar memoriais de cálculo iniciais mais consistentes, rastreáveis e úteis como ponto de partida ao projetista. Para reduzir o risco de decisões “desancoradas”, utiliza-se ainda a Recuperação Aumentada por Busca (RAG), permitindo que trechos normativos relevantes sejam recuperados e utilizados como base textual para justificativas e explicações (LEWIS *et al.*, 2020).

Assim, este trabalho investiga e avalia uma metodologia, implementada em um protótipo funcional, capaz de: (i) adquirir requisitos por conversação em linguagem natural e/ou interpretação de planta baixa; (ii) estruturar os dados do imóvel em um modelo consistente; (iii) executar um *pipeline* determinístico para previsão de cargas, divisão em circuitos e dimensionamentos iniciais; e (iv) gerar automaticamente um memorial de cálculo com rastreabilidade das premissas e resultados. Essa abordagem busca equilibrar a flexibilidade da interação em linguagem natural com a segurança do cálculo normativo, servindo como ferramenta de apoio à etapa preliminar de projeto e como recurso didático para comparação com soluções de referência.

1.1 Motivação

A motivação central deste trabalho é demonstrar que é possível empregar técnicas modernas de inteligência artificial para apoiar a engenharia elétrica de forma responsável, preservando o caráter normativo do domínio. Em particular, busca-se contribuir para o aumento de produtividade na etapa inicial de projeto, reduzindo o tempo dedicado a tarefas repetitivas e fornecendo rapidamente um memorial de cálculo com rastreabilidade das premissas e resultados.

Do ponto de vista acadêmico, a proposta também é relevante por aproximar o discente de um fluxo de projeto estruturado e por permitir comparações objetivas com soluções de referência, evidenciando invariantes normativas e variações legítimas por critério de projeto.

1.2 Objetivos

Este trabalho orienta-se pelos seguintes objetivos, divididos em um objetivo geral, que sintetiza o propósito principal da pesquisa, e objetivos específicos, que detalham as metas intermediárias necessárias para sua consecução.

1.2.1 *Objetivo geral*

Desenvolver e avaliar uma metodologia, implementada em um protótipo funcional, para um agente baseado em LLM com Recuperação Aumentada (RAG) capaz de realizar o dimensionamento inicial de instalações elétricas residenciais de baixa tensão e gerar automaticamente um memorial de cálculo, em conformidade com critérios aplicáveis da ABNT NBR 5410 e diretrizes locais consideradas.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Estruturar a aquisição e consolidação de requisitos do projeto por meio de conversação em linguagem natural e/ou interpretação de planta baixa em formato de imagem.
- Construir um modelo estruturado do imóvel para armazenar ambientes, dimensões e cargas previstas, mantendo rastreabilidade entre entradas, resultados intermediários e saídas.
- Implementar um *pipeline* determinístico para previsão de cargas mínimas, divisão em circuitos terminais, dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção, e determinação do tipo de fornecimento.

- Realizar verificações de conformidade nas etapas do *pipeline*, prevendo realimentação quando inconsistências forem detectadas.
- Validar o método por meio de estudos de caso didáticos, comparando resultados com referências acadêmicas (gabaritos e soluções manuais).

1.3 Metodologia

A pesquisa adota uma abordagem aplicada, com implementação de um protótipo funcional e avaliação por estudos de caso. O método integra: (i) aquisição de informações por texto e/ou imagem; (ii) consolidação das entradas em um modelo estruturado do imóvel; (iii) execução de rotinas determinísticas baseadas em regras normativas para cálculo de cargas, divisão de circuitos e dimensionamentos; e (iv) comparação dos resultados com materiais de referência do contexto didático. O detalhamento completo do método é apresentado no Capítulo 3 e os resultados da validação no Capítulo 4.

1.4 Delimitação do escopo

O escopo deste trabalho concentra-se no dimensionamento inicial de instalações residenciais de baixa tensão, contemplando cargas mínimas de iluminação e tomadas de uso geral, divisão em circuitos terminais, dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção por critérios de capacidade de condução de corrente e coordenação entre proteção e condutor, e determinação do tipo de fornecimento conforme diretrizes locais consideradas. Aspectos como queda de tensão, curto-circuito, DR, DPS, aterramento e diagramas unifilares são tratados como extensões futuras.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a contextualização, motivação, objetivos, metodologia e estrutura do texto. O Capítulo 2 discute a fundamentação teórica necessária, incluindo normas e conceitos relacionados a instalações residenciais e aos princípios de agentes baseados em LLMs e RAG. O Capítulo 3 descreve a metodologia proposta. O Capítulo 4 apresenta os resultados e a validação por estudos de caso. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões, limitações e trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo reúne os principais conceitos necessários para compreender a proposta e os resultados deste trabalho. Inicialmente, são discutidos fundamentos relacionados a instalações elétricas residenciais de baixa tensão, com ênfase no papel do *memorial de cálculo* como documento técnico de consolidação do raciocínio de projeto. Em seguida, são apresentados os fundamentos normativos empregados no levantamento de cargas mínimas, na divisão em circuitos terminais e nos critérios de dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção, tomando como base a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) e as diretrizes da concessionária consideradas no estudo (Enel, 2022).

Além da fundamentação normativa, este capítulo também introduz os conceitos computacionais que viabilizam a automatização parcial do processo de elaboração do memorial de cálculo, incluindo noções de Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs), agentes com uso de ferramentas e Recuperação Aumentada por Busca (RAG). Destaca-se, ainda, a separação entre: (i) componentes determinísticos, responsáveis pelos cálculos e pela aplicação consistente das regras; e (ii) componentes linguísticos, responsáveis por organizar, explicar e apresentar os resultados de forma coerente e rastreável ao usuário. Por fim, são contextualizados os fundamentos associados à interpretação de informações a partir de plantas em imagem e suas limitações práticas, uma vez que a qualidade e precisão da entrada impactam diretamente as estimativas utilizadas nas etapas de cálculo.

2.1 Instalações elétricas residenciais e memorial de cálculo

2.1.1 *Objetivo do projeto elétrico em Baixa Tensão (BT)*

Uma instalação elétrica residencial de baixa tensão pode ser entendida como o conjunto de circuitos, condutores, dispositivos de proteção, pontos de utilização e quadros de distribuição destinados a atender, com segurança e funcionalidade, as demandas de energia elétrica de uma unidade habitacional. Em termos de projeto, busca-se garantir o suprimento adequado das cargas previstas, assegurando simultaneamente requisitos fundamentais como proteção contra sobrecorrentes, limitação de efeitos térmicos, organização e manutenção, conforme práticas normativas e de engenharia adotadas no contexto nacional (CREDER, 2016).

No processo tradicional de elaboração de um projeto elétrico residencial, parte-se de um levantamento de cargas, que pode ser baseado em prescrições mínimas normativas e/ou em equipamentos efetivamente previstos, para então definir a potência instalada e proceder à divisão da instalação em circuitos terminais. Essa divisão impacta diretamente a organização do quadro de distribuição, a seleção dos condutores, a escolha dos dispositivos de proteção e, quando aplicável, a distribuição de cargas entre fases.

2.1.2 O que é memorial e por que ele é útil

O *memorial de cálculo* representa um documento técnico que consolida, de forma estruturada, os principais elementos do raciocínio de projeto. Em geral, ele registra: (i) hipóteses e critérios adotados; (ii) levantamento e composição de cargas; (iii) divisão em circuitos; (iv) dimensionamento de condutores; (v) dimensionamento e seleção de dispositivos de proteção; e (vi) sínteses e tabelas finais que facilitem a verificação e o uso posterior do documento. Neste trabalho, o memorial de cálculo é o principal artefato de saída do sistema proposto e, na versão atual, é gerado automaticamente em formato de documento Microsoft Word.

A utilidade do memorial de cálculo é múltipla. Do ponto de vista técnico, ele fornece rastreabilidade: permite que um terceiro compreenda quais regras, premissas e verificações levaram aos valores e escolhas apresentados. Do ponto de vista de validação, o memorial facilita a checagem de coerência entre carga prevista, circuitos definidos, seções de condutores e proteções especificadas, reduzindo ambiguidades e erros de comunicação (FILHO, 2017). Em cenários acadêmicos e profissionais, esse tipo de registro também tem valor por tornar o projeto auditável, isto é, verificável a partir de critérios explicitados.

2.2 Norma ABNT NBR 5410: previsão de cargas mínimas

Uma etapa essencial do projeto elétrico residencial é a previsão de cargas mínimas associadas a *iluminação e tomadas de uso geral*. Na ausência de um levantamento completo baseado em equipamentos efetivamente definidos, a ABNT NBR 5410 estabelece critérios prescritivos mínimos que permitem estimar a carga instalada de forma padronizada e consistente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

De modo geral, a norma utiliza valores em Volt-Ampere (VA) para essas previsões mínimas, pois se trata de uma estimativa de potência aparente associada a pontos de utilização

típicos.

2.2.1 Iluminação (regras por área)

Para circuitos de iluminação, a ABNT NBR 5410 define uma carga mínima por cômodo ou dependência em função de sua área (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Em termos práticos:

- Ambientes com área $A \leq 6 \text{ m}^2$: deve ser prevista carga mínima de 100 VA.
- Ambientes com área $A > 6 \text{ m}^2$: deve ser prevista carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2 , acrescida de 60 VA para cada acréscimo de 4 m^2 inteiros além dos 6 m^2 .

Uma forma compacta de representar a regra, para $A > 6 \text{ m}^2$, é:

$$P_{\text{ilum}} = 100 + 60 \cdot \left\lfloor \frac{A - 6}{4} \right\rfloor \quad [\text{VA}]$$

onde $\lfloor \cdot \rfloor$ denota a parte inteira (isto é, considera-se apenas incrementos completos de 4 m^2).

Além da potência mínima, a norma também estabelece a necessidade de previsão de pelo menos um ponto de luz fixo no teto por cômodo ou dependência.

2.2.2 Tomadas de uso geral (TUG)

Para tomadas de uso geral, a ABNT NBR 5410 prescreve quantidades mínimas de pontos e potências mínimas a serem atribuídas, variando conforme o tipo de ambiente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

2.2.2.1 Banheiros

Deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada próximo ao lavatório. Para efeito de previsão, adota-se 600 VA por tomada.

2.2.2.2 Cozinhas, copas, áreas de serviço e locais semelhantes

Deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada $3,5 \text{ m}$, ou fração, de perímetro. Para atribuição de potência:

- 600 VA por ponto, até três pontos;
- 100 VA por ponto, para os excedentes.

2.2.2.3 *Salas e dormitórios*

Deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro. Para previsão, adota-se 100 VA por tomada.

2.2.2.4 *Demais cômodos e dependências*

Para outros ambientes:

- Área $\leq 6 \text{ m}^2$: ao menos um ponto;
- Área $> 6 \text{ m}^2$: um ponto a cada 5 m, ou fração, de perímetro.

Em ambos os casos, atribui-se 100 VA por tomada.

2.2.3 *TUE e circuitos dedicados*

Além das TUG, a ABNT NBR 5410 estabelece que pontos destinados a alimentar, de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, equipamentos com corrente nominal superior a 10 A devem constituir circuito independente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Isso caracteriza as tomadas de uso específico (TUE).

Essa prescrição reduz interferências e evita sobrecarga de circuitos de uso geral. Além disso, mesmo para equipamentos com corrente inferior a 10 A, pode ser recomendável (a critério do projetista) a adoção de circuitos exclusivos quando houver características específicas (motores, cargas sensíveis, uso contínuo), demonstrando que existe um espaço de critério de projetista para decidir quando a segregação é desejável.

2.3 **Divisão em circuitos terminais (NBR 5410 + boas práticas)**

Após a previsão das cargas, a instalação deve ser dividida em circuitos terminais. A ABNT NBR 5410 estabelece essa divisão como requisito para segurança, manutenção e redução de interferências.

2.3.1 *Separação entre iluminação e TUG*

Como diretriz geral e boa prática amplamente aceita, recomenda-se manter circuitos de iluminação separados dos circuitos de tomadas, evitando que falhas em cargas de tomadas provoquem desligamentos de iluminação (CREDER, 2016). Essa segregação facilita também a

manutenção e o diagnóstico de falhas.

2.3.2 *Exclusividade para cozinha, área de serviço e TUE*

A norma estabelece situações em que circuitos exclusivos são necessários:

- *TUE (Corrente > 10 A)*: Devem constituir circuitos independentes.
- *Cozinhas, áreas de serviço e afins*: Os pontos de tomada desses ambientes devem ser atendidos por circuitos exclusivamente destinados a eles (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

2.3.3 *Limites típicos por circuito (boas práticas)*

Embora a norma defina requisitos mínimos, é prática comum adotar limites de potência para evitar correntes elevadas em circuitos de uso geral e facilitar a proteção. No contexto deste trabalho, consideram-se como boas práticas:

- *Iluminação*: Limitar a potência para evitar desligamento de grandes áreas em caso de falha. Em 220 V, valores da ordem de 2500 VA são usuais.
- *TUG*: Limitar a potência total para manter correntes compatíveis com disjuntores de uso geral (ex.: 16 A ou 20 A). Em 220 V, limites da ordem de 4300 VA são referências comuns de projeto.

2.3.4 *Circuitos de reserva*

A ABNT NBR 5410 estabelece que os quadros de distribuição devem prever capacidade de reserva (espaço físico) para ampliações futuras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Na prática de projeto, isso se materializa prevendo espaços ou circuitos reserva no quadro, dimensionados e deixados vagos para uso futuro. O número mínimo de circuitos de reserva é definido em função da quantidade de circuitos efetivos da instalação, conforme apresentado na Tabela 1.

Nota: Conforme prescrição normativa, a capacidade de reserva deve ser considerada no cálculo do alimentador do respectivo quadro de distribuição, assegurando que o sistema de entrada comporte ampliações previstas.

Tabela 1 – Espaço mínimo destinado à reserva em quadros de distribuição

Quantidade de circuitos efetivos (N)	Espaço mínimo para reserva (nº de circuitos)
$N \leq 6$	2
$7 \leq N \leq 12$	3
$13 \leq N \leq 30$	4
$N > 30$	$0,15 \cdot N$

Fonte: Adaptado de ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

2.4 Dimensionamento de condutores e proteções (NBR 5410)

Uma vez definidos os circuitos, procede-se ao dimensionamento dos condutores e à seleção dos dispositivos de proteção.

2.4.1 Corrente de projeto, ampacidade e seção mínima

2.4.1.0.1 Corrente de projeto (I_B):

Calculada a partir da potência do circuito e da tensão ($I_B = S/V$).

2.4.1.0.2 Ampacidade (I_Z):

A capacidade de condução de corrente do condutor é obtida inicialmente a partir das tabelas de ampacidade da NBR 5410, que fornecem um valor tabelado de referência (chamado aqui de $I_{Z,tab}$) para um dado método de instalação, material e tipo de isolamento, considerando também o número de condutores carregados no circuito. Entretanto, as tabelas são definidas para condições padronizadas; quando as condições reais diferem (por exemplo, temperatura ambiente maior ou agrupamento de circuitos), a ampacidade deve ser corrigida por fatores multiplicativos. Assim, adota-se:

$$I_Z = I_{Z,tab} \cdot k_T \cdot k_G \cdot k_I \cdot \dots \quad (2.1)$$

onde:

- k_T é o fator de correção por temperatura ambiente (reduz I_Z quando a temperatura é superior à de referência da tabela);
- k_G é o fator de correção por agrupamento (reduz I_Z quando há múltiplos circuitos/condutores próximos no mesmo eletroduto/canaleta, devido ao pior escoamento térmico);

- k_I é o fator de correção por condição de instalação com pior dissipação térmica, quando aplicável (ex.: trechos em isolamento térmico, situações específicas definidas pela norma);
- “...” representa outros fatores normativos que só são aplicados quando o cenário exigir.

Na prática, o procedimento adotado é: (1) definir o método de instalação e as características do cabo (ex.: cobre/PVC e método B1), (2) obter $I_{Z,tab}$ na tabela correspondente, (3) aplicar os fatores pertinentes ao caso para obter I_Z , e então (4) selecionar a menor seção que satisfaça $I_Z \geq I_B$, mantendo a coordenação $I_B \leq I_N \leq I_Z$.

2.4.1.0.3 Seção mínima:

A norma impõe seções mínimas por razões mecânicas, independentemente da corrente calculada:

- 1,5 mm² para iluminação;
- 2,5 mm² para circuitos de força (tomadas).

2.4.2 Critério de coordenação: $I_B \leq I_N \leq I_Z$

Para proteção contra sobrecarga, deve-se atender à relação fundamental de coordenação:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

onde I_B é a corrente de projeto, I_N é a corrente nominal do disjuntor e I_Z é a capacidade de condução do condutor nas condições instaladas. Isso garante que o disjuntor não dispare em operação normal ($I_B \leq I_N$) e que proteja o cabo antes que este sobreaqueça ($I_N \leq I_Z$) (FILHO, 2017).

2.4.3 Condutores de Proteção (PE) e Neutro

2.4.3.0.1 PE (Terra):

Prover caminho de baixa impedância para faltas. Sua seção é definida normativamente com base na seção do condutor de fase.

2.4.3.0.2 Neutro:

Condutor de retorno. Em circuitos monofásicos, sua seção é, em regra, igual à do condutor de fase.

2.4.4 *Hipóteses adotadas no escopo (220 V, B1, PVC)*

Para viabilizar a automatização determinística neste trabalho, são adotadas hipóteses de projeto usuais para residências de padrão popular/médio na região do estudo:

- Tensão de fase-neutro/fase-fase conforme concessionária (ex.: 220 V);
- Método de instalação B1 (condutores em eletroduto embutido em alvenaria);
- Condutores de Cobre com isolamento PVC (70°C);
- Consideração típica de 3 condutores carregados em agrupamentos iniciais (F+N ou F+F, agrupados), ajustável conforme o caso.

2.5 Tipo de fornecimento e diretrizes da concessionária (ET-124 / ENEL Ceará)

Além da NBR 5410, o projeto deve respeitar as normas da concessionária local (ET-124 da ENEL Ceará) (Enel, 2022).

2.5.1 *Enquadramento do fornecimento pela potência instalada*

A ET-124 define se o fornecimento será monofásico, bifásico ou trifásico com base na potência instalada total da unidade consumidora. A potência instalada é a soma das potências atribuídas a todas as cargas (iluminação, TUG e TUE). Faixas de potência (ex.: até 15 kW, até 25 kW) determinam o tipo de atendimento.

2.5.2 *Impactos do tipo de fornecimento no projeto*

O tipo de fornecimento afeta:

1. A arquitetura do quadro (monofásico em comparação ao trifásico);
2. O padrão de entrada e medição;
3. A necessidade de balanceamento de fases na distribuição dos circuitos, visando equilibrar as cargas entre as fases disponíveis.

2.6 Inteligência Artificial e Modelos de Linguagem (LLM)

A Inteligência Artificial (IA) passou por uma transformação paradigmática nos últimos anos com o advento dos Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs, ou *Large Language Models*). Estes modelos representam o estado da arte em Processamento de Linguagem Natural (PLN), demonstrando capacidades surpreendentes de generalização, raciocínio lógico e geração de código.

2.6.1 Arquitetura Transformer e Mecanismo de Atenção

A base tecnológica dos LLMs modernos é a arquitetura *Transformer*, introduzida por Vaswani *et al.* (2017) no trabalho seminal “*Attention Is All You Need*”. Diferentemente das arquiteturas anteriores baseadas em Redes Neurais Recorrentes (RNNs) e LSTMs (*Long Short-Term Memory*), que processavam dados sequencialmente, o Transformer permite o processamento paralelo de toda a sequência de entrada.

O componente central dessa arquitetura é o mecanismo de *autoatenção* (*self-attention*). Esse mecanismo permite que o modelo pondere a relevância de cada palavra (ou *token*) em relação a todas as outras na mesma sequência, independentemente da distância entre elas. Matematicamente, a atenção pode ser descrita como uma função que mapeia uma consulta (Q), uma chave (K) e um valor (V) para uma saída:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V \quad (2.2)$$

Onde d_k é a dimensão da chave. Essa capacidade de capturar dependências de longo prazo e contextos complexos é o que permite aos LLMs compreenderem nuances da linguagem humana, referências cruzadas e instruções compostas.

2.6.2 Pré-treinamento e Ajuste Fino (*Fine-Tuning*)

O ciclo de vida de um LLM envolve tipicamente duas etapas principais:

1. **Pré-treinamento:** O modelo é treinado em um *corpus* massivo de texto (trilhões de palavras provenientes da web, livros, artigos e código-fonte) com o objetivo de prever o próximo *token* em uma sequência. Nesta fase, o modelo adquire conhecimento geral sobre o mundo, gramática, lógica e até mesmo fundamentos de programação.

2. **Ajuste Fino (*Fine-Tuning*):** O modelo pré-treinado é refinado em conjuntos de dados menores e mais específicos, muitas vezes utilizando técnicas como RLHF (*Reinforcement Learning from Human Feedback*) para alinhar o comportamento do modelo às instruções humanas, tornando-o mais útil, seguro e assertivo para tarefas de assistência (NGUYEN; KITTUR, 2025).

2.6.3 Limitações: Alucinações e Janela de Contexto

Apesar de seu poder, os LLMs possuem limitações críticas para aplicações de engenharia:

- **Alucinações:** Como modelos probabilísticos, os LLMs podem gerar informações factualmente incorretas, mas com alta confiança e fluidez (JI *et al.*, 2023). Em um projeto elétrico, inventar uma norma ou um valor de corrente é inaceitável.
- **Janela de Contexto Limitada:** Embora tenha crescido, a quantidade de informação que um modelo pode processar de uma vez (sua "memória de curto prazo") é finita. Não é possível, por exemplo, inserir o texto integral de todas as normas técnicas brasileiras no *prompt* de uma única vez.
- **Dificuldade com Aritmética:** LLMs são excelentes em lógica linguística, mas frequentemente falham em cálculos matemáticos precisos, a exemplo de somas complexas ou operações com ponto flutuante, pois tentam prever o resultado token por token em vez de calcular.

Aplicação neste trabalho: Reconhecendo essas limitações, a metodologia proposta utiliza o LLM estritamente como um orquestrador semântico. O modelo é responsável por interpretar os requisitos do usuário (como a solicitação de um chuveiro de 5500W) e estruturar o raciocínio, mas os cálculos de engenharia e as verificações normativas são delegados a ferramentas externas determinísticas, garantindo que a "alucinação" não afete a segurança do projeto elétrico.

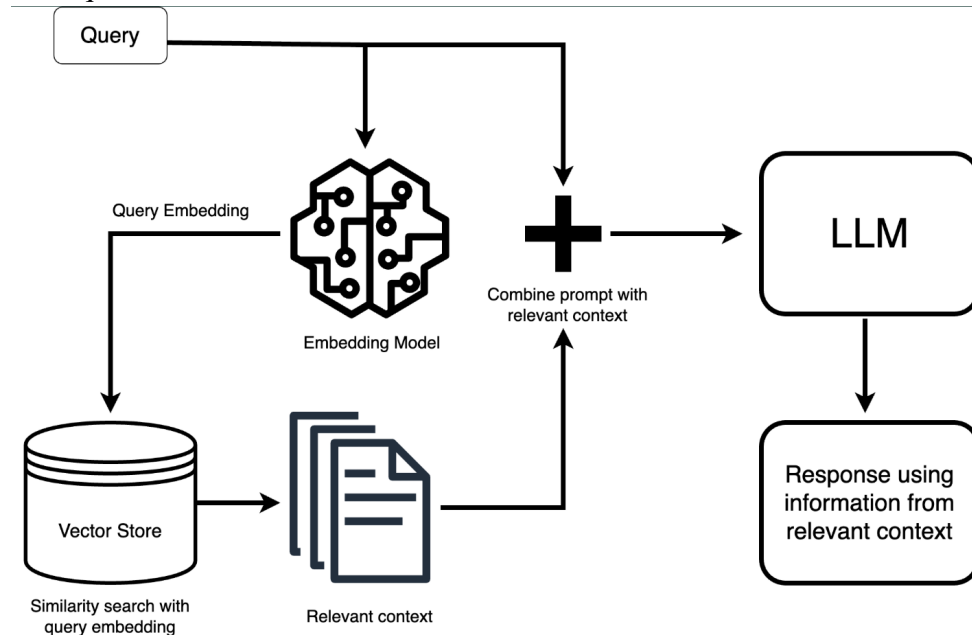
2.7 Recuperação Aumentada por Busca (RAG)

Para mitigar o problema das alucinações e a limitação de conhecimento atualizado, a técnica de *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) tem se consolidado como padrão na indústria (LEWIS *et al.*, 2020).

2.7.1 Conceito e Comparação com Fine-Tuning

O RAG é uma arquitetura que combina um modelo gerador (o LLM) com um módulo recuperador (*Retriever*), conforme ilustrado na Figura 1. Em vez de confiar apenas nos parâmetros internos do modelo (sua "memória paramétrica"), o sistema busca informações relevantes em uma base de conhecimento externa confiável antes de gerar a resposta.

Figura 1 – Arquitetura básica de um sistema RAG



Fonte: Elaborado pelo autor.

É fundamental distinguir o RAG do *Fine-Tuning*. Enquanto o *Fine-Tuning* é utilizado para adaptar o estilo, o comportamento ou a forma como o modelo responde (sendo ideal para tarefas repetitivas ou de domínio muito específico), o RAG é preferível quando o conhecimento necessário é vasto, frequentemente atualizado e requer citação explícita da fonte. No contexto de normas técnicas, onde a auditabilidade e a precisão do texto original são cruciais, o RAG é a abordagem mais adequada.

2.7.2 Implementação Prática: Indexação, Recuperação e Geração

A aplicação de um sistema RAG eficaz envolve etapas técnicas bem definidas:

- **Indexação e *Chunking*:** Documentos longos, como normas em PDF, são pré-processados e divididos em fragmentos menores (*chunks*), respeitando a estrutura lógica do documento (por exemplo, por seções ou artigos da norma). Metadados como número do item e página são preservados para rastreabilidade.

- **Embeddings e Busca Vetorial:** Cada fragmento de texto é convertido em um vetor numérico (*embedding*) de alta dimensão que representa seu significado semântico. A recuperação utiliza algoritmos de busca de similaridade (como similaridade de cosseno) para encontrar os k trechos (*top-k*) mais relevantes para a consulta do usuário, mesmo que as palavras exatas não coincidam.
- **Montagem de Contexto (*Context Assembly*):** Os trechos recuperados são injetados no *prompt* do sistema. O modelo recebe uma instrução explícita para usar apenas o contexto fornecido abaixo para responder.
- **Grounding e Rastreabilidade:** Para garantir a veracidade, o modelo é instruído a citar a fonte da informação utilizada (por exemplo, “conforme item 6.2 da NBR 5410 recuperado”), permitindo que o engenheiro humano verifique a base da decisão.

Aplicação neste trabalho: A base de conhecimento do sistema proposto é composta pelos textos da NBR 5410 e da ET-124. Através do RAG, o agente recupera os critérios exatos (como fatores de agrupamento e seções mínimas) no momento da decisão, assegurando que o memorial de cálculo esteja ancorado na norma vigente e não em conhecimento genérico ou alucinado.

2.8 Agentes Inteligentes e Sistemas Autônomos

Enquanto um sistema RAG é passivo, pois responde a uma pergunta, um **Agente** é um sistema autônomo capaz de perseguir objetivos complexos. Yao *et al.* (2023) definem agentes baseados em LLM como sistemas onde o modelo de linguagem atua como o "cérebro", responsável pelo planejamento e raciocínio, enquanto interfaces externas fornecem a capacidade de ação.

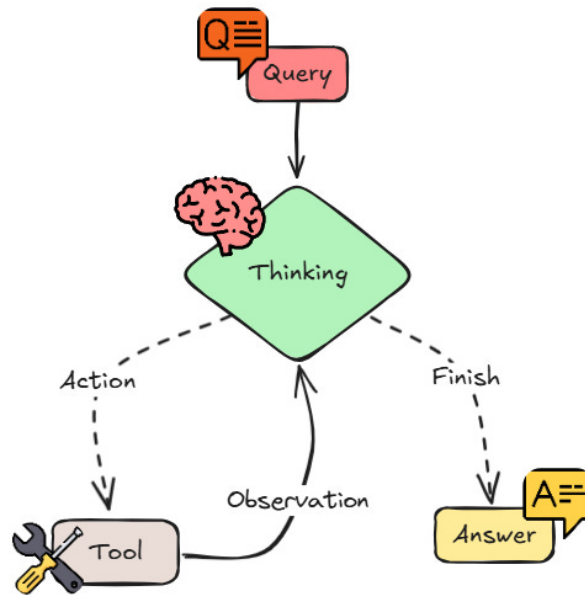
2.8.1 O Padrão ReAct (*Reasoning + Acting*)

Uma das abordagens mais eficazes para a construção de agentes é o padrão *ReAct* (Synergizing Reasoning and Acting in Language Models). Onde modelos tradicionais apenas geram texto, um agente ReAct opera em um loop contínuo, ilustrado na Figura 2, composto por:

- **Pensamento (*Thought*):** O agente analisa o estado atual e decide o que precisa ser feito (como a necessidade de calcular a corrente do circuito do chuveiro).
- **Ação (*Action*):** O agente escolhe uma ferramenta para executar uma tarefa específica (por

Figura 2 – Ciclo de raciocínio e ação no padrão ReAct

ReAct Agent architecture



Fonte: Adaptado de Yao *et al.* (2023).

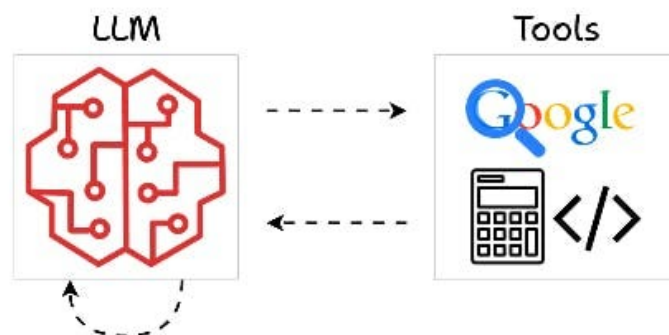
exemplo, chamar a função `calcular_corrente(potencia=5500, tensao=220)`).

- **Observação (*Observation*):** O agente recebe o resultado da ferramenta e o incorpora ao seu raciocínio para dar o próximo passo.

2.8.2 Confiabilidade e Controle: Ferramentas Determinísticas

Para aplicações de engenharia, a autonomia do agente deve ser balizada por rigor técnico. Isso é alcançado através do uso de ferramentas (Figura 3):

Figura 3 – Interação entre o LLM e ferramentas externas



Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Ferramentas Determinísticas:** As funções que o agente chama (cálculo de queda de tensão, seleção de disjuntor) são algoritmos de software clássico, testáveis e imunes a

alucinações.

- **Critérios de Parada e Validação:** O agente opera sob restrições lógicas. Por exemplo, uma ferramenta de seleção de cabos verifica internamente a condição $I_B \leq I_N \leq I_Z$ e retorna erro caso não satisfeita, forçando o agente a revisar seu plano antes de prosseguir.

Aplicação neste trabalho: O agente desenvolvido executa um loop ReAct onde cada etapa do projeto elétrico (levantamento de carga, divisão de circuitos, dimensionamento) é uma ação que invoca uma função de engenharia específica. O memorial de cálculo final não é uma criação livre do LLM, mas sim o registro estruturado das saídas validadas dessas ferramentas determinísticas, orquestradas pela inteligência do modelo.

2.9 Síntese do capítulo

Este capítulo fundamentou os dois pilares do trabalho. De um lado, a engenharia elétrica, com as prescrições rígidas da ABNT NBR 5410 e da ET-124, que definem *o que* deve ser feito. Do outro, a Inteligência Artificial moderna, através de LLMs, RAG e Agentes ReAct, que definem *como* automatizar esse processo de forma inteligente. A estratégia de separar o determinismo (cálculo) da fluidez (texto) é fundamental para garantir que o memorial de cálculo gerado seja, ao mesmo tempo, tecnicamente rigoroso e acessível ao usuário.

3 METODOLOGIA

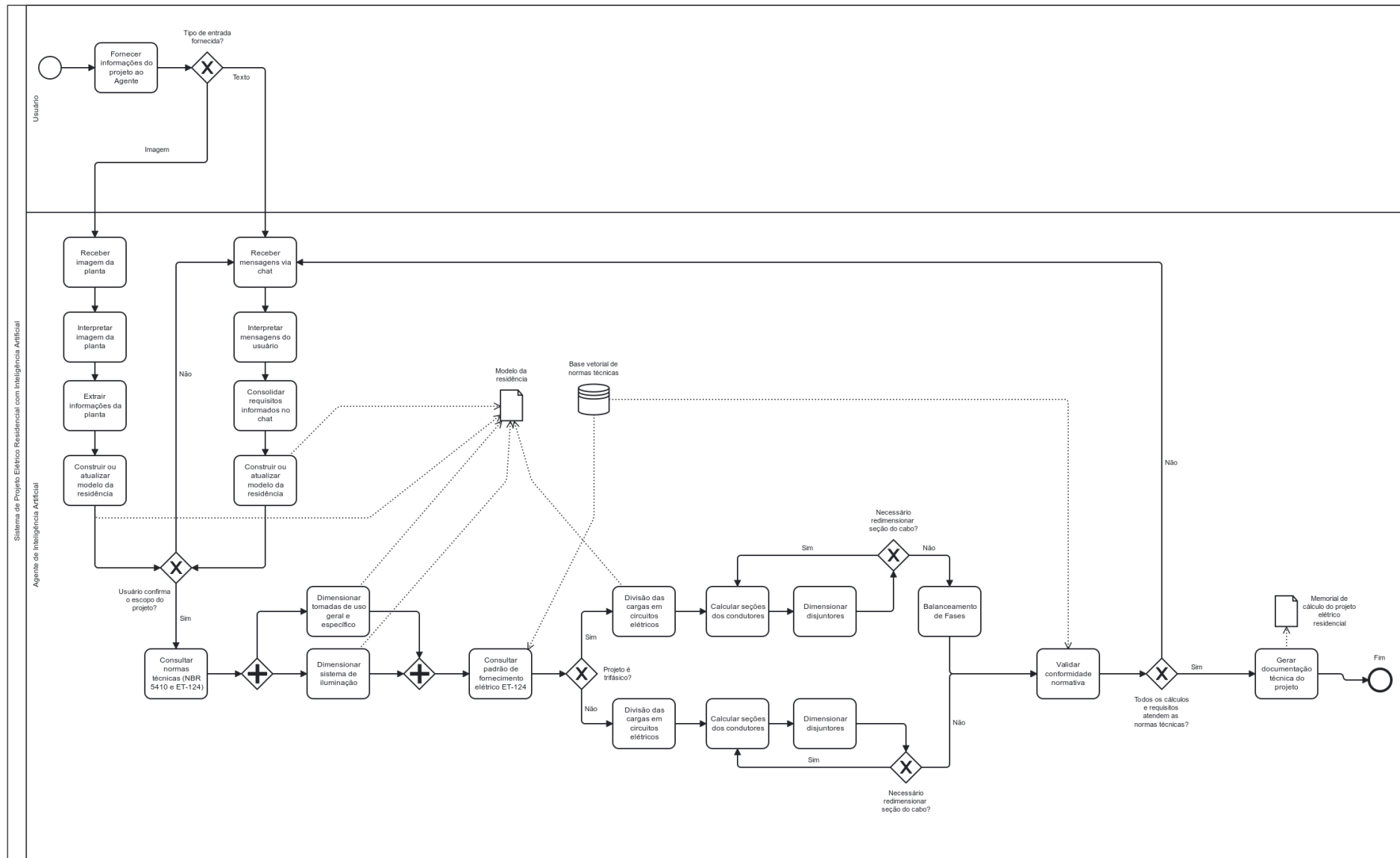
Este trabalho utiliza três frentes principais para alcançar os resultados propostos: (i) um mecanismo de aquisição e consolidação de requisitos do projeto elétrico residencial, capaz de interagir com o usuário em linguagem natural e/ou interpretar uma planta baixa em formato de imagem; (ii) um conjunto de rotinas de dimensionamento fundamentadas em normas técnicas aplicáveis a instalações elétricas de baixa tensão e em diretrizes locais de fornecimento, responsáveis por transformar as informações do imóvel em cálculos e decisões de projeto; e (iii) um procedimento de verificação de conformidade com realimentação do processo, visando assegurar que o resultado final atenda aos critérios normativos e às boas práticas adotadas.

Além disso, o método foi estruturado para manter rastreabilidade ao longo da execução, por meio de uma representação estruturada do projeto (modelo da residência), que é atualizada progressivamente conforme novas informações são obtidas e conforme os cálculos são realizados. Essa abordagem permite organizar o processo em etapas claras, reduzir ambiguidades e apoiar a geração final do memorial de cálculo.

Neste capítulo, serão detalhadas as metodologias empregadas para (a) coletar e organizar as entradas do usuário, (b) construir o modelo do imóvel, (c) executar o *pipeline* de dimensionamento e (d) validar o atendimento às normas técnicas, culminando na geração do memorial de cálculo.

Solução proposta e visão geral do Fluxo

Figura 4 – Fluxo metodológico do agente para projeto elétrico residencial



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 4 apresenta o fluxo metodológico proposto neste trabalho, representado em formato processual. O processo, se inicia com o fornecimento de informações pelo usuário ao agente, podendo ocorrer por dois caminhos de entrada: texto (conversação em linguagem natural) ou imagem da planta baixa.

No primeiro caminho, o usuário interage por mensagens, e as informações são interpretadas e consolidadas progressivamente, até que o escopo do projeto seja suficientemente definido. No segundo caminho, o usuário fornece uma planta baixa em formato de imagem contendo, preferencialmente, identificação dos ambientes e suas dimensões. A interpretação da planta busca extrair os dados geométricos necessários ao dimensionamento; quando a extração não é satisfatória, o fluxo prevê mecanismos auxiliares de extração e normalização das informações. Em ambos os casos, as informações obtidas alimentam a construção e atualização do modelo da residência, que representa os ambientes e as cargas previstas, incluindo cargas específicas informadas pelo usuário ao longo da interação.

Uma vez consolidado o modelo do imóvel, o fluxo avança para as etapas de dimensionamento fundamentadas nas normas técnicas e diretrizes de fornecimento adotadas. Nessa fase, são executados, de forma sequencial e coerente, os cálculos relacionados a iluminação, tomadas de uso geral, tomadas de uso específico, bem como a divisão da instalação em circuitos terminais, com base em critérios normativos e boas práticas de projeto. A partir da definição dos circuitos, o processo realiza o dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção, priorizando critérios de capacidade de condução de corrente e coerência entre condutor e proteção. Para instalações alimentadas por mais de uma fase, o fluxo prevê ainda o balanceamento de cargas entre fases, buscando o maior equilíbrio possível.

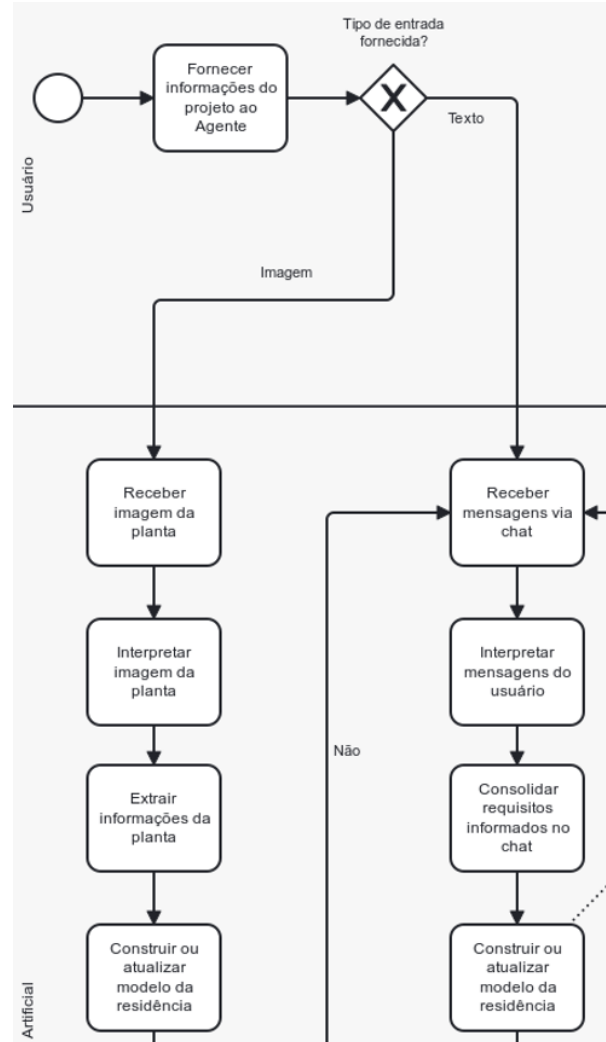
O diagrama também contempla pontos de decisão e realimentação. Caso seja identificado que algum critério não foi atendido (por exemplo, necessidade de ajuste de dimensionamento), o processo retorna às etapas apropriadas para correção. Ao final, é executada uma etapa de validação de conformidade normativa, na qual se verifica se os resultados atendem aos requisitos aplicáveis e às boas práticas adotadas. Somente após a validação positiva o fluxo segue para a geração do memorial de cálculo e demais tabelas finais do projeto, encerrando o processo.

3.1 Aquisição das informações do projeto e consolidação do escopo

O funcionamento do método proposto depende, inicialmente, da aquisição e estruturação das informações do projeto elétrico residencial. Nesta etapa, descrita na Figura 5, o

objetivo é transformar entradas não estruturadas (texto em linguagem natural e/ou imagem da planta) em um modelo de dados estruturado, contendo os parâmetros mínimos necessários para a execução dos dimensionamentos previstos no escopo do trabalho.

Figura 5 – Recorte do fluxo metodológico: aquisição de informações e consolidação do escopo



Fonte: Elaborado pelo autor

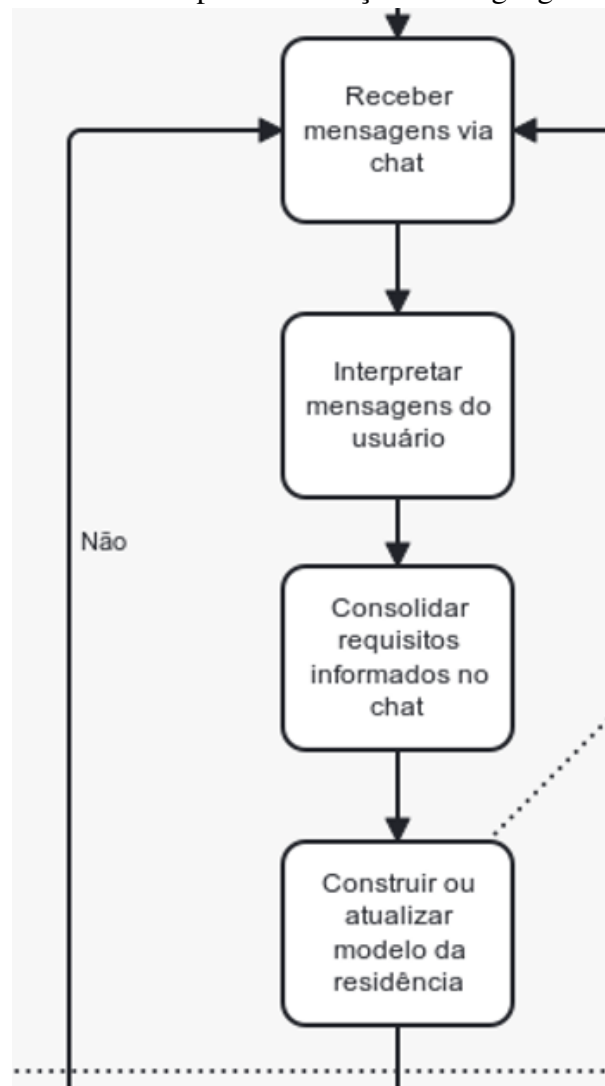
A aquisição das informações ocorre por dois caminhos: (i) interação conversacional e (ii) interpretação de planta baixa em formato de imagem. Em ambos os casos, o fluxo prevê mecanismos de confirmação e complementação, de modo que o escopo seja considerado “fechado” apenas quando o modelo do imóvel estiver completo o suficiente para dar início aos cálculos.

3.1.1 Entrada por conversação em linguagem natural

No modo conversacional, detalhado na Figura 6, o usuário descreve características do imóvel e do fornecimento por meio de mensagens em linguagem natural. O sistema conduz

uma sequência de perguntas e confirmações para reduzir ambiguidade e coletar informações essenciais. Essa abordagem é particularmente útil quando o usuário não possui a planta em imagem ou quando existem dados que não estão explicitamente presentes na planta.

Figura 6 – Detalhe do fluxo: entrada por conversação em linguagem natural



Fonte: Elaborado pelo autor

As informações mínimas buscadas nessa etapa incluem:

- tensão de alimentação adotada no projeto;
- método de instalação considerado (assumindo-se um método padrão, quando não especificado, com possibilidade de alteração);
- parâmetros gerais de projeto, como hipóteses de agrupamento e organização de circuitos;
- cargas específicas (tomadas de uso específico), informadas pelo usuário, que impactam diretamente a divisão de circuitos e o dimensionamento.

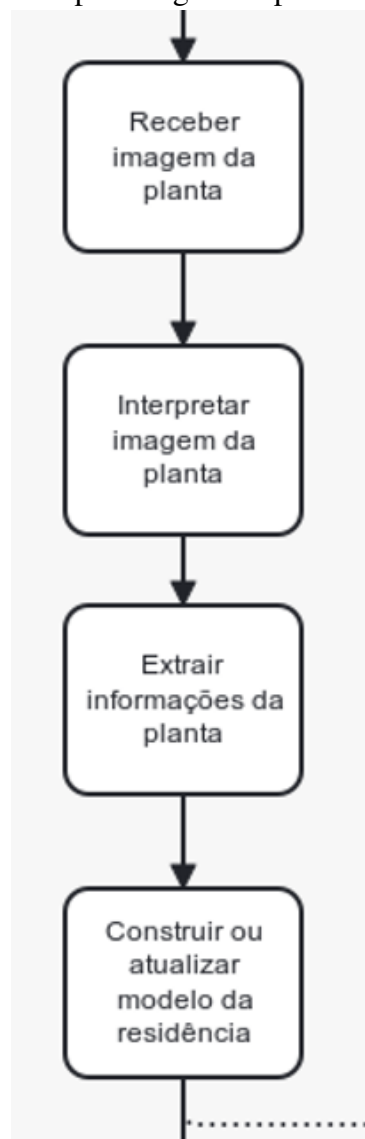
À medida que o diálogo avança, as informações são registradas no modelo de dados do projeto. Quando o usuário menciona a existência de uma carga dedicada (por exemplo, um

equipamento com alimentação específica em determinado ambiente), essa carga passa a compor explicitamente o modelo do imóvel e será tratada nas etapas posteriores.

3.1.2 *Entrada por imagem da planta baixa*

No modo de entrada por imagem, ilustrado na Figura 7, o usuário fornece uma planta baixa que contenha, preferencialmente, identificação dos ambientes e dimensões (comprimento e largura). A partir dessa entrada, o sistema realiza a interpretação da planta para extrair dados geométricos relevantes ao dimensionamento, como:

Figura 7 – Detalhe do fluxo: entrada por imagem da planta baixa



Fonte: Elaborado pelo autor

- lista de ambientes;
- dimensões dos ambientes;

- grandezas derivadas, como área e perímetro.

Quando a interpretação direta da imagem não é suficiente para extrair informações com qualidade, o método prevê um mecanismo auxiliar de extração textual como alternativa (fallback), permitindo recuperar rótulos e valores dimensionais presentes na planta. Em seguida, os dados extraídos são validados e normalizados antes de serem incorporados ao modelo do projeto.

Nesta versão do trabalho, a entrada por planta é limitada ao formato de imagem, sendo a extensão para outros formatos (por exemplo, arquivos CAD) considerada como possibilidade de trabalhos futuros.

3.1.3 Estruturação do modelo do imóvel e regras de consistência

Independentemente do canal de entrada, as informações coletadas são organizadas em um modelo estruturado do imóvel, composto, no mínimo, por:

- parâmetros de alimentação (como tensão);
- relação de ambientes (nome e dimensões);
- grandezas geométricas derivadas (área e perímetro);
- registro de cargas previstas por ambiente, incluindo cargas específicas informadas durante a interação.

Além de armazenar os dados, a metodologia aplica regras de consistência para evitar propagação de erros para as etapas de cálculo, tais como:

- verificação de dimensões válidas (valores positivos e coerentes);
- padronização de unidades e formatos numéricos;
- confirmação de informações sensíveis ao dimensionamento quando há ambiguidade (por exemplo, tensão de alimentação e presença de cargas dedicadas).

3.1.4 Critério de encerramento da etapa (escopo “fechado”)

Considera-se que o escopo está “fechado” quando o modelo do imóvel contém informações suficientes para iniciar o *pipeline* de dimensionamento, isto é:

1. parâmetros de alimentação definidos;
2. ambientes identificados com dimensões válidas;
3. cargas específicas relevantes registradas (quando existirem);
4. ausência de lacunas que comprometam a divisão em circuitos e o dimensionamento por

critérios do escopo.

A partir desse ponto, o fluxo avança para as etapas de cálculo e validação normativa, mantendo a possibilidade de retorno à etapa de aquisição caso sejam identificadas inconsistências durante as verificações posteriores.

3.2 Modelo normativo e estratégia de aplicação

Com o escopo consolidado e o modelo do imóvel estruturado, o método avança para a etapa em que as informações coletadas são transformadas em decisões e cálculos do projeto elétrico residencial. Nesta fase, a metodologia adota como referência as normas técnicas aplicáveis a instalações elétricas de baixa tensão e as diretrizes locais de fornecimento, estabelecendo um conjunto de regras e critérios que guiam o dimensionamento, com base na ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A estratégia adotada combina dois elementos complementares: (i) rotinas determinísticas de dimensionamento, que formalizam regras normativas em procedimentos reprodutíveis; e (ii) um mecanismo de consulta e fundamentação normativa (LEWIS *et al.*, 2020), utilizado para justificar escolhas e responder dúvidas do usuário sobre o porquê de determinadas decisões.

Essa abordagem é relevante porque o dimensionamento elétrico possui partes estritamente normativas e calculáveis, que demandam consistência e repetibilidade, e também possui pontos em que o usuário necessita de esclarecimento técnico sobre critérios adotados e boas práticas.

3.2.1 Formalização das regras normativas

As regras extraídas dos documentos técnicos são organizadas em rotinas de cálculo e critérios de verificação. Sempre que uma regra puder ser expressa de forma objetiva (por exemplo, cálculo de cargas mínimas, definição de limites por circuito, obrigatoriedade de circuitos exclusivos para determinadas cargas), ela é incorporada como procedimento determinístico. Dessa forma, o método garante que, para um mesmo conjunto de entradas, os resultados produzidos serão consistentes e auditáveis.

Quando houver necessidade de esclarecer decisões (por exemplo, justificar a separação de circuitos, explicar limites de potência adotados ou a razão de circuitos dedicados), o

método utiliza a consulta a trechos normativos e diretrizes aplicáveis como suporte explicativo. Assim, a fundamentação técnica pode ser apresentada de forma transparente, sem comprometer a consistência do dimensionamento.

3.2.2 Organização do pipeline de dimensionamento

O dimensionamento é estruturado em etapas sequenciais, refletindo o fluxo de projeto e reduzindo dependências circulares, conforme detalhado na Figura 8. De forma geral, o *pipeline* é organizado como:

1. *Cálculo das cargas por ambiente*: determinação das cargas mínimas de iluminação e das cargas de tomadas de uso geral (TUG) por ambiente, conforme regras normativas para cada tipo de cômodo.
2. *Incorporação de cargas específicas (TUE)*: registro de cargas informadas pelo usuário que devem receber tratamento dedicado no projeto.
3. *Divisão em circuitos terminais*: organização da instalação em circuitos de iluminação e circuitos de tomadas, com separação funcional e aplicação de critérios normativos e boas práticas para limitação de potência por circuito, quando necessário.
4. *Dimensionamento de condutores*: seleção da seção dos condutores por circuito, considerando como critério principal a capacidade de condução de corrente, dadas as premissas adotadas (material do condutor, tipo de isolamento, método de instalação e condições de referência).
5. *Dimensionamento dos dispositivos de proteção*: escolha dos dispositivos de proteção compatíveis com os circuitos dimensionados, preservando coerência técnica entre proteção e condutores.
6. *Balanceamento de fases (quando aplicável)*: distribuição dos circuitos entre fases buscando equilíbrio de potência por fase, conforme boas práticas e diretrizes aplicáveis.
7. *Verificação de conformidade e ajustes*: checagem do atendimento às regras adotadas, com retorno às etapas anteriores quando necessário.

Cada uma dessas etapas produz saídas intermediárias que são armazenadas de forma estruturada, permitindo rastreabilidade e facilitando a geração do memorial de cálculo ao final do processo.

3.2.3 Premissas e limites de escopo adotados

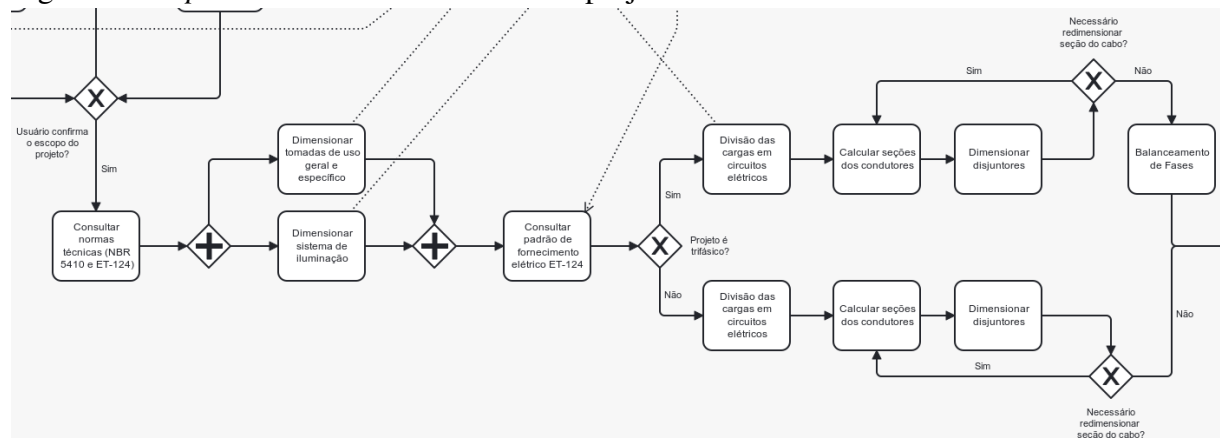
Para tornar o método objetivo e reproduzível, foram adotadas premissas compatíveis com o contexto residencial, incluindo um método de instalação de referência e condições padrão para o dimensionamento por capacidade de condução de corrente. Nesta versão do trabalho, o dimensionamento é centrado em critérios diretamente aplicáveis às etapas de cálculo, divisão de circuitos, seleção de condutores e proteção, além do balanceamento quando pertinente.

CrITÉRIOS adicionais, como verificação de queda de tensão, curto-circuito e aterramento, não são contemplados no escopo atual e são indicados como extensões futuras, sem prejuízo ao objetivo principal do trabalho.

3.3 Pipeline de dimensionamento do projeto elétrico

O dimensionamento do projeto elétrico residencial proposto neste trabalho é conduzido por um *pipeline* sequencial, ilustrado na Figura 8, fundamentado na previsão de cargas mínimas e na organização em circuitos terminais, conforme critérios normativos e boas práticas usuais. O levantamento das potências é realizado por meio de uma previsão das cargas mínimas de iluminação e tomadas, permitindo determinar a potência total prevista da instalação. Essa previsão segue o que estabelece o item 9.5.2 da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), que orienta o procedimento de estimativa das cargas a serem instaladas.

Figura 8 – Pipeline de dimensionamento do projeto elétrico



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.1 *Previsão de carga de iluminação*

A carga mínima de iluminação por cômodo/dependência é estimada em função da área do ambiente, conforme o *item 9.5.2* da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Para fins de aplicação metodológica, adota-se:

- Para ambientes com área $\leq 6 \text{ m}^2$: prever 100 VA de carga mínima de iluminação.
- Para ambientes com área $> 6 \text{ m}^2$: prever 100 VA para os primeiros 6 m^2 acrescida de 60 VA a cada aumento de 4 m^2 inteiros.

Essa regra permite que a carga mínima de iluminação seja calculada de forma reprodutível a partir das dimensões do cômodo, gerando como saída: (i) potência de iluminação por ambiente e (ii) potência total de iluminação da residência.

Observação normativa: além da potência, a norma estabelece que, para cada cômodo ou dependência, deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, comandado por interruptor, conforme o *subitem 9.5.2.1.1* da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

3.3.2 *Previsão de tomadas de uso geral*

A previsão de TUG é realizada conforme o *item 9.5.2* da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), diferenciando-se por tipo de ambiente. Além disso, no caso de banheiros e demais situações com restrições, deve-se respeitar as condições de instalação indicadas no *item 9.1* (restrições/zonas aplicáveis ao ambiente).

De forma resumida, a metodologia aplica:

- *Banheiros:* prever pelo menos 1 tomada próxima ao lavatório, respeitando as restrições do *item 9.1*; atribuir 600 VA por tomada (mínimo).
- *Cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais semelhantes:* prever no mínimo 1 tomada a cada $3,5 \text{ m}$ de perímetro (ou fração); atribuir 600 VA por ponto para até 3 pontos e 100 VA por ponto excedente, considerando cada ambiente separadamente.
- *Varandas:* prever pelo menos 1 tomada (admitindo-se posição próxima ao acesso em situações construtivas específicas); atribuir 100 VA por tomada.
- *Salas e dormitórios:* prever no mínimo 1 tomada a cada 5 m de perímetro (ou fração); atribuir 100 VA por tomada.

- *Demais cômodos/dependências*: se área $\leq 6 \text{ m}^2$, prever ao menos 1 tomada; se área $> 6 \text{ m}^2$, prever 1 tomada a cada 5 m de perímetro (ou fração); atribuir 100 VA por tomada.

Como saída dessa etapa, o método obtém a quantidade mínima de TUG por ambiente, a potência atribuída por ambiente e o total de TUG da instalação.

Tabela 2 – Regras mínimas de previsão de TUG por tipo de ambiente e potência atribuída

Tipo de ambiente	Regra mínima de quantidade	Potência atribuída
Banheiros	Pelo menos 1 tomada próxima ao lavatório (ver item 9.1)	≥ 600 VA por tomada
Cozinhas, copas, áreas de serviço e semelhantes	1 tomada a cada 3,5 m de perímetro (ou fração), independente da área	600 VA até 3 pontos; 100 VA p/ excedente
Varandas	Pelo menos 1 tomada (admite-se próxima ao acesso)	100 VA por tomada
Salas e dormitórios	1 tomada a cada 5 m de perímetro (ou fração), independente da área	100 VA por tomada
Demais cômodos	Área $\leq 6 \text{ m}^2$: 1 tomada; Área $> 6 \text{ m}^2$: 1 a cada 5 m de perímetro	100 VA por tomada

Fonte: Adaptado de ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Com base nas regras de previsão de carga mínima de iluminação (item 9.5.2) e nas regras de TUG sintetizadas na Tabela 2 obtém-se a carga prevista de TUG por ambiente e a carga total de TUG da instalação, as quais são utilizadas nas etapas posteriores de divisão em circuitos terminais e dimensionamento.

3.3.3 Tomadas de uso específico - TUE e circuitos dedicados

As cargas específicas (TUE) são incorporadas ao modelo do projeto a partir das informações fornecidas pelo usuário (ex.: condicionador de ar, chuveiro elétrico, máquina de lavar). Conforme o *subitem 9.5.3.1* da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), todo ponto de utilização previsto para alimentar equipamento de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, com corrente nominal superior a 10 A, deve constituir um circuito independente.

Na prática metodológica, isso implica:

- registrar cada TUE com sua localização (ambiente) e característica de potência/corrente;
- alocar cada TUE em circuito terminal próprio, evitando compartilhamento com TUG;
- permitir (por critério de projetista) a criação de circuitos dedicados também para cargas com corrente inferior a 10 A quando houver justificativa técnica (por exemplo, natureza motriz ou sensibilidade eletrônica), mantendo coerência com a boa prática.

3.3.4 Divisão da instalação em circuitos terminais

Com as cargas mínimas de iluminação e TUG calculadas e as TUE consolidadas, realiza-se a divisão da instalação em circuitos terminais. Essa divisão visa facilitar operação e manutenção, permitir seccionamento adequado e reduzir interferência entre pontos de utilização.

A metodologia aplica:

- (a) *Separação funcional*: circuitos de iluminação devem ser separados de circuitos de tomadas de uso geral (boa prática consistente com projetos residenciais) (CREDER, 2016).
- (b) *Circuitos exclusivos para TUE (subitem 9.5.3.1)*: TUE alocadas em circuitos independentes quando aplicável (corrente nominal > 10 A ou carga dedicada/virtualmente dedicada).
- (c) *Tomadas de cozinhas e áreas semelhantes (item 9.5.3.2)*: os pontos de tomada de cozinhas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais semelhantes devem ser atendidos por circuitos destinados exclusivamente às tomadas desses locais.
- (d) *Limitação de potência por circuito*: para manter o projeto coerente com faixas usuais de proteção, adota-se a limitação de potência como boa prática (FILHO, 2017):
 - *Iluminação*: limitar a potência por circuito conforme prática didática e valores de referência por tensão.
 - *TUG*: limitar a potência por circuito considerando a capacidade dos dispositivos de proteção e condutores.

Nota: Quando a potência total se mantém abaixo dos limites de referência, admite-se manter um único circuito, respeitadas as separações funcionais.

- (e) *Distribuição entre fases*: em instalações bifásicas ou trifásicas, as cargas devem ser distribuídas buscando o maior equilíbrio possível entre as fases.

3.3.4.1 Regra para determinação do número de circuitos

Para traduzir as diretrizes normativas em um procedimento computável pelo agente, adotou-se a seguinte lógica sequencial para a definição da quantidade e disposição dos circuitos terminais:

1. Circuitos de segregação obrigatória: Antes do agrupamento por potência, as cargas são classificadas em grupos funcionais rígidos (*g*), conforme a NBR 5410:

- **Iluminação:** Separada totalmente de tomadas;
- **TUG (Cozinhas e Áreas de Serviço):** Devem formar circuitos exclusivos, não misturados

com salas ou quartos;

- **TUE:** Cada TUE identificada gera automaticamente um circuito independente ($n_{TUE} = 1$).

2. Quantidade por limite de potência: Para os grupos de iluminação e TUGs, o número mínimo de circuitos (n_g) é determinado dividindo-se a potência total do grupo ($S_{g,total}$) por uma potência limite de referência ($S_{g,lim}$). Adotaram-se como valores de referência para tensão de 220 V: $S_{lim,ilum} \approx 2500$ VA e $S_{lim,TUG} \approx 4300$ VA (baseado em disjuntores de até 20 A). A quantidade é dada por:

$$n_g = \max \left(1, \left\lceil \frac{S_{g,total}}{S_{g,lim}} \right\rceil \right) \quad (3.1)$$

Onde $\lceil x \rceil$ representa a função teto (menor inteiro maior ou igual a x).

3. Algoritmo de particionamento: O agente distribui as cargas entre os n_g circuitos utilizando uma abordagem gulosa (*greedy*): ordena-se as cargas por ambiente para manter a contiguidade espacial e aloca-se carga a um circuito até que a adição da próxima exceda $S_{g,lim}$. Nesse caso, encerra-se o circuito atual e abre-se um novo.

4. Verificação de corrente: Após a divisão, calcula-se a corrente de projeto (I_B) de cada circuito. Caso algum circuito exceda a capacidade típica de disjuntores terminais de uso geral (ex.: 20 A para TUG), o algoritmo incrementa n_g e redistribui as cargas.

Exemplo de aplicação: Considerando um agrupamento de TUGs de dormitórios e salas com $S_{g,total} = 7200$ VA (em 220 V) e adotando o limite de referência $S_{lim} = 4300$ VA. O sistema calcula $n = \lceil 7200/4300 \rceil = \lceil 1,67 \rceil = 2$ circuitos. As tomadas são então distribuídas entre estes dois circuitos, priorizando que tomadas do mesmo cômodo permaneçam no mesmo circuito sempre que possível.

3.3.5 Previsão de circuitos reserva

O método prevê reserva para ampliações futuras sob dois aspectos complementares:

- reserva física no quadro de distribuição (espaço para inclusão de disjuntores/circuitos);
- reserva de potência associada a circuitos típicos (valores usuais adotados por critério de projetista em práticas acadêmicas e profissionais).

3.3.6 Dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção

Após a definição dos circuitos terminais, estima-se a corrente por circuito a partir da potência atribuída e da tensão do projeto. Em seguida:

- dimensionam-se os condutores pelo critério principal de capacidade de condução de corrente (ampacidade), adotando premissas usuais do escopo (material e isolamento usuais, método de instalação de referência e condições padrão);
- selecionam-se os dispositivos de proteção coerentes com o circuito dimensionado, assegurando compatibilidade entre proteção e condutor.

3.3.7 Balanceamento de fases

Quando aplicável, o balanceamento é realizado visando equilibrar a potência por fase, distribuindo circuitos de modo a reduzir assimetrias. Circuitos dedicados (TUE) são tratados como elementos prioritários, a fim de evitar repartições inadequadas e preservar a lógica funcional do projeto.

3.3.8 Verificação final e retorno para correções

Ao final do *pipeline*, verifica-se o atendimento às regras normativas citadas (itens 9.5.2, 9.5.2.1.1, 9.1, 9.5.3.1 e 9.5.3.2) e às boas práticas adotadas. Caso alguma inconsistência seja detectada (por exemplo, circuito excedendo limite de potência de referência ou TUE não dedicada), o fluxo retorna à etapa pertinente (divisão de circuitos ou dimensionamento), até que o conjunto final esteja coerente para geração do memorial.

3.4 Geração do memorial de cálculo e organização da documentação do projeto

Concluídas as etapas de previsão de cargas, divisão em circuitos terminais e dimensionamento, os resultados são consolidados em um memorial de cálculo. Esse documento tem por finalidade registrar, de forma organizada e rastreável, as premissas adotadas, os critérios normativos utilizados e os principais resultados obtidos, permitindo verificação técnica e comunicação clara do projeto.

O memorial gerado segue uma estrutura padronizada, organizada em seções que refletem diretamente o *pipeline* descrito na Seção 3.3, garantindo coerência entre: (i) informações

de entrada, (ii) resultados intermediários e (iii) dimensionamento final.

3.4.1 Organização do memorial

O memorial é composto, de modo geral, pelas seguintes seções:

1. Dados da obra

Identificação da edificação, localização, tipo de uso e dados básicos do projeto. Essa seção também inclui campos para identificação do(s) projetista(s) e informações de fornecimento quando aplicável.

2. Objetivos e escopo do memorial

Apresenta o objetivo do documento e delimita o escopo do projeto gerado, tipicamente incluindo:

- definição e quantificação de cargas por ambiente;
- cálculo da potência instalada prevista;
- divisão em circuitos terminais;
- dimensionamento de condutores e especificação das proteções;
- diretrizes de organização do quadro e registros necessários para execução.

3. Metodologia aplicada no memorial

Resume os critérios adotados para levantamento de cargas e dimensionamento, com referência direta aos itens normativos que fundamentam as regras aplicadas. Em especial:

- previsão de cargas mínimas de iluminação e tomadas conforme ABNT NBR 5410 (item 9.5.2);
- obrigatoriedade de ponto de luz fixo por ambiente conforme subitem 9.5.2.1.1;
- regras de TUG por tipo de ambiente, com observação de restrições de instalação em ambientes específicos conforme item 9.1 quando aplicável;
- critério de circuitos dedicados para TUE conforme subitem 9.5.3.1;
- necessidade de circuitos exclusivos para tomadas de cozinhas/áreas similares conforme item 9.5.3.2;
- critérios de dimensionamento de condutores por capacidade de condução de corrente e seções mínimas, conforme os itens aplicáveis da ABNT NBR 5410.

4. Levantamento de cargas (por ambiente)

Apresenta tabelas por dependência com: área, perímetro, quantidade de pontos e potência mínima prevista para:

- iluminação (com base no item 9.5.2);
- TUG (com base no item 9.5.2 e restrições do item 9.1 quando aplicável);
- TUE (quando houver), registrando a carga nominal informada para cada equipamento.

Ao final, o memorial consolida um quadro-resumo de cargas e a potência total prevista.

5. *Divisão dos circuitos terminais*

Documenta a etapa de agrupamento das cargas em circuitos, explicitando:

- separação entre iluminação e tomadas;
- criação de circuitos exclusivos para TUE (subitem 9.5.3.1);
- circuitos exclusivos para cozinhas/áreas similares (item 9.5.3.2);
- aplicação de limites de potência por circuito como boa prática;
- registro de circuitos reserva.

6. *Padrão de fornecimento e dimensionamento da entrada/proteção geral*

Com base na potência instalada prevista e nos critérios aplicáveis da concessionária local, registra: tipo de fornecimento (monofásico/bifásico/trifásico), proteção geral e seção mínima do condutor de entrada.

7. *Balanceamento de cargas (quando aplicável)*

Apresenta a distribuição dos circuitos e um resumo das potências por fase, buscando o equilíbrio de potência.

8. *Dimensionamento dos condutores*

Apresenta o dimensionamento por circuito contendo: potência, tensão, corrente de projeto e seção final selecionada, incluindo condutores neutro e de proteção.

9. *Dimensionamento dos dispositivos de proteção*

Documenta a seleção do dispositivo de proteção por circuito, registrando o critério de coordenação entre corrente de projeto, corrente nominal do dispositivo e capacidade do condutor através das inequações normativas.

10. *Resumo consolidado*

Consolida em tabelas finais: resumo por dependência, resumo por circuito, tabela completa de dimensionamento e resumo do fornecimento geral.

3.4.2 *Rastreabilidade entre método e documento*

A estrutura do memorial é construída para manter correspondência direta com o *pipeline* descrito na Seção 3.3 e ilustrado na Figura 8. Assim, cada tabela do memorial deriva de

uma etapa do método (cargas → circuitos → condutores → proteções → fornecimento/balanceamento), permitindo auditoria e verificação dos resultados obtidos.

3.5 Estratégia de validação da metodologia

A validação da metodologia proposta foi conduzida por meio de um estudo de caso, no qual os resultados gerados pelo método foram comparados com referências acadêmicas consolidadas no contexto de instalações elétricas residenciais. O objetivo dessa validação é verificar se as saídas produzidas, tais como previsão de cargas mínimas, divisão em circuitos terminais, dimensionamento de condutores, seleção de dispositivos de proteção e, quando aplicável, balanceamento de fases, permanecem coerentes com os critérios normativos e com práticas de projeto utilizadas no ensino de engenharia elétrica.

3.5.1 Base de referência e dados utilizados

Como referência principal, foi adotado um projeto elétrico residencial disponibilizado em contexto didático no curso de instalações elétricas residenciais da Universidade Federal do Ceará (UFC) (Universidade Federal do Ceará, 2023; Universidade Federal do Ceará, 2025), que inclui enunciado do projeto, solução de referência (gabarito do docente) e soluções típicas produzidas por discentes. Essa escolha se justifica por se tratar de material estruturado com finalidade pedagógica e alinhado às exigências normativas, permitindo uma comparação objetiva entre o resultado esperado e o resultado obtido pela metodologia.

A entrada do estudo de caso foi composta pelas informações essenciais do imóvel (ambientes e dimensões) e pelos parâmetros de fornecimento e premissas usuais de projeto (por exemplo, tensão e condições de instalação de referência), de modo a reproduzir condições equivalentes às utilizadas no exercício acadêmico.

3.5.2 Critérios de avaliação e equivalência aceitável

A comparação entre os resultados foi feita considerando dois níveis:

1. Conformidade normativa: verificação do atendimento aos requisitos e critérios prescritos na ABNT NBR 5410 aplicáveis às etapas contempladas no escopo do trabalho, incluindo a previsão de cargas mínimas, regras de pontos de tomada e pontos de iluminação, e requisitos de circuitos dedicados e separação funcional.

2. Equivalência de projeto (critério de projetista): reconhecimento de que, mesmo com atendimento normativo, podem existir variações legítimas de projeto. Assim, foram considerados equivalentes resultados que, embora não idênticos em todos os detalhes ao gabarito, permanecem tecnicamente aceitáveis.

Esse critério é relevante especialmente na divisão de circuitos, onde diferentes agrupamentos podem ser adotados sem violar requisitos, desde que sejam respeitadas as regras de separação, exclusividade quando exigida e limites de potência/corrente aplicáveis.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no Capítulo 3 em três estudos de caso provenientes de manuais e roteiros de laboratório utilizados em disciplinas de engenharia elétrica na Universidade Federal do Ceará. Para cada estudo de caso, a entrada é composta pela planta arquitetônica com as dimensões dos ambientes, a partir da qual são realizadas as etapas de: (i) previsão de cargas mínimas por ambiente, (ii) consolidação das cargas e divisão em circuitos terminais, (iii) dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção e (iv) determinação do tipo de fornecimento e, quando aplicável, balanceamento de cargas.

Os resultados obtidos foram avaliados por comparação com materiais de referência do contexto didático (respostas desenvolvidas manualmente, soluções típicas de discentes e gabarito), adotando-se como critério principal a reprodutibilidade das cargas mínimas por ambiente e a determinação do tipo de fornecimento. Adicionalmente, foram analisadas a coerência da divisão de circuitos e dos dimensionamentos correlatos (seções de condutores e disjuntores), reconhecendo-se que essas escolhas podem admitir variações decorrentes de critérios de projeto e premissas de instalação, desde que preservados os requisitos técnicos aplicáveis.

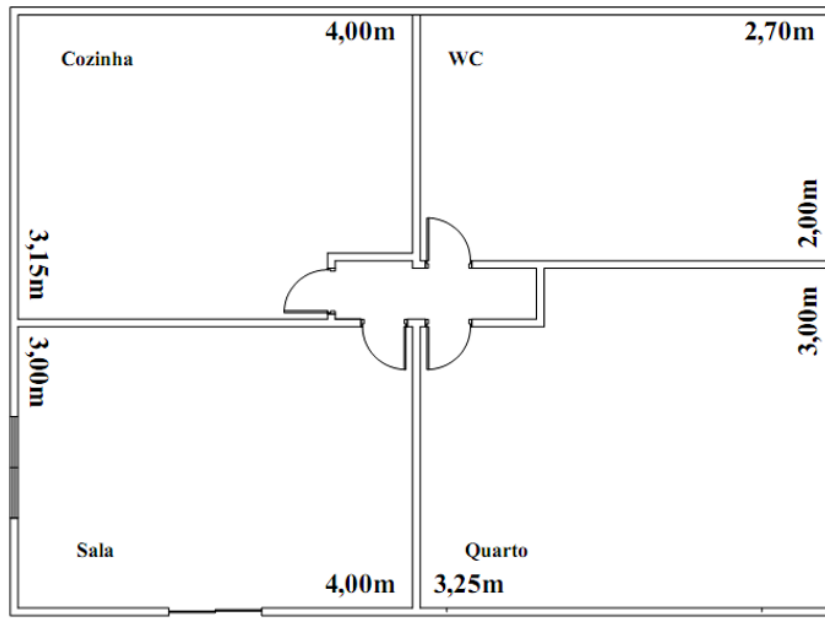
4.1 Estudos de caso e dados de entrada

A validação foi conduzida por meio de três exercícios extraídos de manuais e procedimentos de laboratório de disciplinas relacionadas a instalações elétricas, nos quais é proposto o desenvolvimento completo do projeto elétrico residencial a partir da planta e de requisitos mínimos (Universidade Federal do Ceará, 2023). Os três estudos de caso são compostos por residências/apartamentos com distribuição típica de ambientes, possibilitando avaliar a metodologia em cenários de complexidade crescente.

4.1.1 Estudo de caso 1

O primeiro estudo de caso corresponde a uma residência composta por quatro dependências: cozinha, banheiro, sala e quarto. A planta baixa utilizada é apresentada na Figura 9, e as dimensões de cada ambiente são detalhadas na Tabela 3. O memorial completo encontra-se no Apêndice A.

Figura 9 – Planta baixa do Estudo de Caso 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 3 – Dimensões, áreas e perímetros dos ambientes do projeto

Ambiente	Dimensões (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)
Cozinha	4,00 × 3,15	12,6	14,3
Sala	4,00 × 3,00	12,0	14,0
WC	2,70 × 2,00	5,4	9,4
Quarto	3,00 × 3,25	9,75	12,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

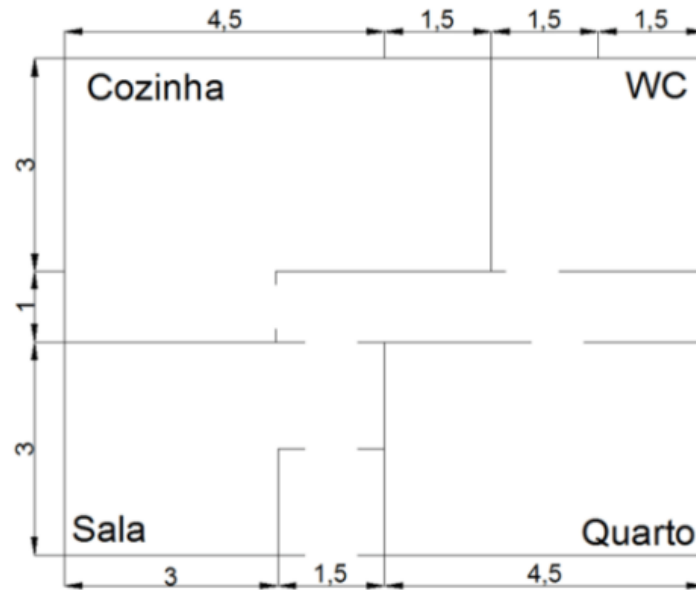
4.1.2 Estudo de caso 2

O segundo estudo de caso corresponde a um apartamento composto por cozinha, sala, quarto, banheiro e uma área de circulação. A planta baixa é mostrada na Figura 10, e as dimensões são apresentadas na Tabela 4. O memorial completo encontra-se no Apêndice B.

4.1.3 Estudo de caso 3

O terceiro estudo de caso corresponde a um apartamento com maior quantidade de dependências, incluindo área de serviço, cozinha, dois dormitórios, banheiro, copa e sala. A planta baixa pode ser visualizada na Figura 11, e as dimensões são apresentadas na Tabela 5. O

Figura 10 – Planta baixa do Estudo de Caso 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 4 – Ambientes e dimensões do Estudo de Caso 2

Ambiente	Dimensões (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)
Cozinha	7,00 × 3,00	21,00	20,00
Sala	4,50 × 3,00	13,50	15,00
Quarto	4,50 × 3,00	13,50	15,00
Banheiro	3,00 × 3,00	9,00	12,00
Circulação	1,00 × 6,00	6,00	14,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

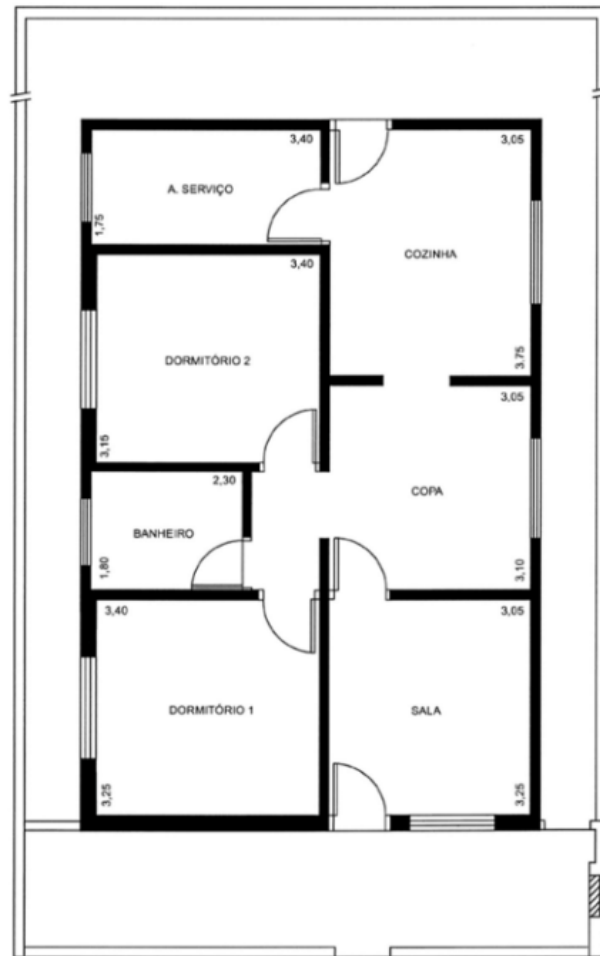
memorial completo encontra-se no Apêndice C.

4.1.4 Premissas gerais adotadas nos três estudos de caso

Para garantir comparabilidade, foram adotadas premissas comuns aos três casos:

- Tensão nominal: 220 V.
- Tomadas de uso específico (TUE): não foram consideradas nos três exercícios, por se tratar de escopo alinhado ao manual de práticas; entretanto, o método prevê a inclusão desse tipo de carga quando necessário.
- Condições de instalação para dimensionamento: método de referência B1 (condutores

Figura 11 – Planta baixa do Estudo de Caso 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 5 – Ambientes e dimensões do Estudo de Caso 3

Ambiente	Dimensões (m)	Área (m ²)	Perímetro (m)
Área de serviço	1,75 × 3,40	5,95	10,30
Cozinha	3,05 × 3,75	11,44	13,60
Dormitório 1	3,40 × 3,25	11,05	13,30
Dormitório 2	3,40 × 3,15	10,71	13,10
Banheiro	2,30 × 1,80	4,14	8,20
Copa	3,05 × 3,10	9,46	12,30
Sala	3,05 × 3,25	9,91	12,60

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

em eletroduto embutido), condutores de cobre com isolamento em PVC e hipótese de agrupamento máximo de três circuitos como premissa padrão de projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

- Tipo de fornecimento: determinado a partir da potência instalada e das diretrizes da concessionária local, podendo resultar em alimentação monofásica, bifásica ou trifásica conforme o caso.

4.2 Previsão de cargas mínimas por ambiente

Nesta seção são apresentados os resultados do levantamento das cargas mínimas de iluminação e tomadas de uso geral (TUG) para os três estudos de caso descritos na Seção 4.1. A previsão de cargas seguiu os critérios normativos para determinação de potências mínimas por ambiente, permitindo consolidar a potência prevista e servir de base para a divisão em circuitos terminais e dimensionamentos subsequentes.

Ressalta-se que não foram consideradas cargas de tomadas de uso específico (TUE) nos três estudos por se tratarem de exercícios didáticos de manual. Ainda assim, a metodologia prevê a inclusão de TUE quando identificadas na entrada ou informadas pelo usuário.

4.2.1 Estudo de caso 1

As cargas mínimas de iluminação e tomadas de uso geral previstas para o Estudo de caso 1 são apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Cargas mínimas de iluminação (Estudo de caso 1)

Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Nº de pontos	Potência total (VA)
Cozinha	12,60	14,30	2	160
WC	5,40	9,40	1	100
Sala	12,00	14,00	2	160
Quarto	9,75	12,50	1	100
Total			6	520

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 7 – Cargas mínimas de TUG (Estudo de caso 1)

Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Nº TUG 100 VA	Nº TUG 600 VA	Potência total (VA)
Cozinha	12,60	14,30	2	3	2000
WC	5,40	9,40	0	1	600
Sala	12,00	14,00	3	0	300
Quarto	9,75	12,50	3	0	300
Total			8	4	3200

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.2.2 Estudo de caso 2

Para o Estudo de caso 2, as Tabelas 8 e 9 detalham a previsão de cargas de iluminação e TUG, respectivamente.

Tabela 8 – Cargas mínimas de iluminação (Estudo de caso 2)

Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Nº de pontos	Potência total (VA)
Cozinha	21,00	20,00	4	280
Sala	13,50	15,00	2	160
Quarto	13,50	15,00	2	160
WC	9,00	12,00	1	100
Circulação	6,00	14,00	1	100
Total			10	800

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 9 – Cargas mínimas de TUG (Estudo de caso 2)

Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Nº TUG 100 VA	Nº TUG 600 VA	Potência total (VA)
Cozinha	21,00	20,00	3	3	2100
Sala	13,50	15,00	3	0	300
Quarto	13,50	15,00	3	0	300
WC	9,00	12,00	0	1	600
Circulação	6,00	14,00	1	0	100
Total			10	4	3400

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.2.3 Estudo de caso 3

Os resultados da previsão de cargas para o terceiro estudo de caso constam nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Cargas mínimas de iluminação (Estudo de caso 3)

Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Nº de pontos	Potência total (VA)
Área de serviço	5,95	10,30	1	100
Dormitório 2	10,71	13,10	2	160
Banheiro	4,14	8,20	1	100
Dormitório 1	11,05	13,30	2	160
Cozinha	11,44	13,60	2	160
Copa	9,46	12,30	1	100
Sala	9,91	12,60	1	100
Total			10	880

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 11 – Cargas mínimas de TUG (Estudo de caso 3)

Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Nº TUG 100 VA	Nº TUG 600 VA	Potência total (VA)
Área de serviço	5,95	10,30	1	0	100
Dormitório 2	10,71	13,10	3	0	300
Banheiro	4,14	8,20	0	1	600
Dormitório 1	11,05	13,30	3	0	300
Cozinha	11,44	13,60	1	3	1900
Copa	9,46	12,30	1	3	1900
Sala	9,91	12,60	3	0	300
Total			12	7	5400

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.3 Divisão em circuitos terminais

A partir das cargas previstas na Seção 4.2, as cargas foram agrupadas e distribuídas em circuitos terminais. Em todos os casos, foi mantida a separação entre circuitos de iluminação e circuitos de tomadas. Adicionalmente, foram previstos circuitos reserva no quadro de distribuição, seguindo prática usual de projeto para acomodar ampliações futuras (CREDER, 2016).

4.3.1 Estudo de caso 1

A divisão da instalação do Estudo de caso 1 em circuitos terminais, incluindo a previsão de reservas, é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 – Divisão em circuitos (Estudo de caso 1)

Circuito	Tipo	Dependências	Descrição	Potência (VA)	FP	Potência (W)
1	Iluminação	Cozinha, Sala, WC, Quarto	Iluminação geral	520	1,00	520
2	TUG	Cozinha	TUGs Cozinha	2000	0,80	1600
3	TUG	WC, Sala, Quarto	TUGs agrupadas	1200	0,80	960
4	Reserva	–	Circuito reserva 1	2200	1,00	2200
5	Reserva	–	Circuito reserva 2	2200	1,00	2200
Total				8120		7480

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.3.2 Estudo de caso 2

Para o Estudo de caso 2, a organização dos circuitos terminais, considerando a separação de cargas e reservas, consta na Tabela 13.

Tabela 13 – Divisão em circuitos (Estudo de caso 2)

Circuito	Tipo	Dependências	Descrição	Potência (VA)	FP	Potência (W)
1	Iluminação	Cozinha, Sala, Quarto, WC, Circulação	Iluminação geral	800	1,00	800
2	TUG	Cozinha	TUGs Cozinha	2100	0,80	1680
3	TUG	WC, Sala, Quarto, Circulação	TUGs agrupadas	1300	0,80	1040
4	Reserva	–	Circuito reserva 1	2200	1,00	2200
5	Reserva	–	Circuito reserva 2	2200	1,00	2200
Total				8600		7920

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.3.3 Estudo de caso 3

A distribuição das cargas em circuitos terminais para o terceiro estudo de caso é detalhada na Tabela 14.

Tabela 14 – Divisão em circuitos (Estudo de caso 3)

Circuito	Tipo	Dependências	Descrição	Potência (VA)	FP	Potência (W)
1	Iluminação	Todos os ambientes	Iluminação geral	880	1,00	880
2	TUG	Área de serviço	TUGs área de serviço	100	0,80	80
3	TUG	Cozinha	TUGs cozinha	1900	0,80	1520
4	TUG	Copa	TUGs copa	1900	0,80	1520
5	TUG	Banheiro, Dorm. 1, Dorm. 2, Sala	TUGs agrupadas	1500	0,80	1200
6	Reserva	–	Circuito reserva 1	2200	1,00	2200
7	Reserva	–	Circuito reserva 2	2200	1,00	2200
Total				10680		9600

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.4 Dimensionamento dos circuitos

Após a divisão da instalação em circuitos terminais (Seção 4.3), procedeu-se ao dimensionamento elétrico de cada circuito, contemplando: (i) determinação da corrente de projeto, (ii) seleção da seção dos condutores de fase, neutro e proteção, e (iii) seleção do dispositivo de proteção (disjuntor) segundo os critérios usuais de coordenação entre corrente do circuito, capacidade de condução do condutor e corrente nominal do dispositivo.

Em todos os estudos de caso, adotaram-se as seguintes premissas: tensão nominal de 220 V, condutores de cobre com isolamento em PVC e método de instalação compatível com o método de referência utilizado na metodologia. A corrente de projeto de cada circuito foi obtida a partir da potência ativa atribuída e da tensão do circuito. Em seguida, a seção dos condutores foi definida garantindo atendimento simultâneo a: (a) seção mínima aplicável ao tipo de circuito e (b) capacidade de condução de corrente do condutor. Por fim, o disjuntor foi selecionado de modo a atender a condição de coordenação do tipo:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

onde I_B representa a corrente de projeto do circuito, I_N a corrente nominal do dispositivo de proteção e I_Z a capacidade de condução de corrente do condutor no método de instalação adotado (FILHO, 2017).

4.4.1 Estudo de caso 1

Para o Estudo de caso 1, o dimensionamento dos condutores é apresentado na Tabela 15, enquanto a seleção dos disjuntores é detalhada na Tabela 16.

Tabela 15 – Seções dos condutores (Estudo de caso 1)

Circuito	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Fase (mm ²)	Neutro (mm ²)	Proteção (mm ²)
C01	520,0	220	2,4	1,5	1,5	1,5
C02	1600,0	220	9,1	2,5	2,5	2,5
C03	960,0	220	5,5	2,5	2,5	2,5
C04	2200,0	220	10,0	2,5	2,5	2,5
C05	2200,0	220	10,0	2,5	2,5	2,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 16 – Dimensionamento dos disjuntores (Estudo de caso 1)

Circuito	I_B (A)	I_Z (A)	I_N (A)	Seção (mm ²)	Redimensionado
C01	2,4	17,5	3	1,5	Não
C02	9,1	24	10	2,5	Não
C03	5,5	24	6	2,5	Não
C04	10,0	24	10	2,5	Não
C05	10,0	24	10	2,5	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.4.2 Estudo de caso 2

Os resultados do dimensionamento para o Estudo de caso 2 podem ser observados nas Tabelas 17 e 18, referentes aos condutores e dispositivos de proteção, respectivamente.

Tabela 17 – Seções dos condutores (Estudo de caso 2)

Circuito	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Fase (mm ²)	Neutro (mm ²)	Proteção (mm ²)
C01	800,0	220	3,6	1,5	1,5	1,5
C02	1680,0	220	9,5	2,5	2,5	2,5
C03	1040,0	220	5,9	2,5	2,5	2,5
C04	2200,0	220	10,0	2,5	2,5	2,5
C05	2200,0	220	10,0	2,5	2,5	2,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.4.3 Estudo de caso 3

Para o terceiro estudo de caso, as seções dos condutores dimensionados constam na Tabela 19, e a especificação dos disjuntores encontra-se na Tabela 20.

Tabela 18 – Dimensionamento dos disjuntores (Estudo de caso 2)

Circuito	I_B (A)	I_Z (A)	I_N (A)	Seção (mm ²)	Redimensionado
C01	3,6	17,5	6	1,5	Não
C02	9,5	24	10	2,5	Não
C03	5,9	24	6	2,5	Não
C04	10,0	24	10	2,5	Não
C05	10,0	24	10	2,5	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 19 – Seções dos condutores (Estudo de caso 3)

Circuito	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Fase (mm ²)	Neutro (mm ²)	Proteção (mm ²)
C01	880,0	220	4,0	1,5	1,5	1,5
C02	80,0	220	0,5	2,5	2,5	2,5
C03	1520,0	220	8,6	2,5	2,5	2,5
C04	1520,0	220	8,6	2,5	2,5	2,5
C05	1200,0	220	6,8	2,5	2,5	2,5
C06	2200,0	220	10,0	2,5	2,5	2,5
C07	2200,0	220	10,0	2,5	2,5	2,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 20 – Dimensionamento dos disjuntores (Estudo de caso 3)

Circuito	I_B (A)	I_Z (A)	I_N (A)	Seção (mm ²)	Redimensionado
C01	4,0	17,5	6	1,5	Não
C02	0,5	24	3	2,5	Não
C03	8,6	24	10	2,5	Não
C04	8,6	24	10	2,5	Não
C05	6,8	24	8	2,5	Não
C06	10,0	24	10	2,5	Não
C07	10,0	24	10	2,5	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.5 Determinação do tipo de fornecimento e proteção geral

Com base na potência instalada obtida após a divisão dos circuitos e conforme diretrizes aplicáveis da concessionária local, foi determinado o tipo de fornecimento e especificada a proteção geral, incluindo a seção mínima do condutor de alimentação e o disjuntor geral.

Tabela 21 – Tipo de fornecimento e proteção geral (síntese)

Estudo de caso	Potência instalada (kW)	Tipo de fornecimento	Condutor mínimo (mm ²)	Disjuntor geral (A)
Caso 1	7,48	Monofásico	4,0	32
Caso 2	7,92	Monofásico	4,0	32
Caso 3	9,60	Monofásico	6,0	40

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.6 Síntese comparativa dos estudos de caso

A Tabela 22 apresenta uma visão consolidada dos principais resultados obtidos, evidenciando a progressão de carga e complexidade entre os cenários.

Tabela 22 – Comparativo geral dos estudos de caso

Parâmetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Potência de iluminação total (VA)	520	800	880
Potência TUG total (VA)	3200	3400	5400
Potência instalada total (kW)	7,48	7,92	9,60
Nº de circuitos (ativos/total)	3 / 5	3 / 5	5 / 7
Tipo de fornecimento	Monofásico	Monofásico	Monofásico
Disjuntor geral (A)	32	32	40

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.7 Discussão e validação dos resultados

A validação foi conduzida comparando os resultados obtidos com as soluções desenvolvidas manualmente e com o gabarito associado aos exercícios dos manuais de laboratório. Como critérios principais de validação, foram priorizados dois indicadores fundamentais:

1. *Invariantes normativas*: as cargas mínimas por ambiente (iluminação e TUG) são determinadas por critérios normativos objetivos baseados em área, perímetro e classificação do

ambiente. Portanto, para uma mesma planta de entrada, esses valores devem ser invariantes. Do mesmo modo, o tipo de fornecimento é uma função direta da potência instalada acumulada e das normas da concessionária local. A convergência total observada nesses itens (Tabela 23) valida a precisão do motor de cálculo em relação às regras de projeto.

2. *Coerência elétrica do dimensionamento*: a integridade técnica da solução foi verificada pela manutenção da condição de coordenação $I_B \leq I_N \leq I_Z$ em todos os circuitos. Observou-se que, para o conjunto de cargas e premissas adotadas, não houve necessidade de redimensionamento de condutores por critério de proteção (coluna "Redimensionado" nas tabelas de disjuntores), indicando que a seleção inicial baseada na capacidade de condução foi suficiente e consistente com as proteções de mercado selecionadas. Ressalta-se que, mesmo em circuitos com correntes muito reduzidas (como o C02 do Estudo de caso 3, com apenas 0,5 A), a seção dos condutores foi mantida em conformidade com os requisitos de seção mínima normativa para circuitos de força e por critérios de padronização de projeto.

Em todos os três estudos de caso, observou-se concordância integral entre as cargas mínimas por ambiente calculadas e as referências (gabarito e soluções manuais). Do mesmo modo, o tipo de fornecimento identificado foi equivalente ao esperado no material de referência para o conjunto de premissas adotadas.

Foram observadas divergências pontuais ao comparar com soluções de alguns discentes, principalmente quando estes optaram por incluir cargas adicionais (por exemplo, considerar a presença de alguma TUE), o que pode elevar a potência instalada e, conseqüentemente, alterar o tipo de fornecimento. Contudo, esse comportamento não caracteriza inconsistência do método, mas sim diferença de escopo: quando o conjunto de cargas consideradas é alterado, é esperado que as etapas subsequentes do projeto (circuitos, dimensionamentos e fornecimento) sejam impactadas. No recorte de validação adotado, isto é, cargas mínimas normativas conforme o manual, os resultados permaneceram consistentes.

Tabela 23 – Resultado da validação (síntese)

Estudo de caso	Cargas mínimas por ambiente	Tipo de fornecimento	Observações
Caso 1	Convergência total	Convergência total	Divergências em soluções de terceiros associadas a inclusão de cargas adicionais
Caso 2	Convergência total	Convergência total	Mesmo comportamento observado
Caso 3	Convergência total	Convergência total	Mesmo comportamento observado

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um agente de inteligência artificial, baseado em modelos de linguagem, capaz de auxiliar a elaboração de projetos elétricos residenciais de baixa tensão a partir de informações fornecidas pelo usuário, seja por conversação em linguagem natural, seja por interpretação de planta baixa em formato de imagem. A proposta integrou técnicas de consulta a documentos normativos para fundamentação técnica e um conjunto de rotinas determinísticas para garantir consistência dos resultados, culminando na geração automática de um memorial de cálculo inicial do projeto.

Conforme apresentado no Capítulo 3, o método foi organizado como um *pipeline* de etapas bem definidas: aquisição e consolidação do escopo, previsão de cargas mínimas por ambiente, divisão em circuitos terminais, dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção, determinação do tipo de fornecimento e verificação de coerência técnica do dimensionamento. A abordagem determinística aplicada às etapas de cálculo garante reprodutibilidade: para um mesmo conjunto de entradas, os resultados permanecem invariantes, o que é essencial em tarefas guiadas por critérios normativos.

Os resultados do Capítulo 4 demonstraram que, nos três estudos de caso avaliados a partir de materiais didáticos de laboratório, as cargas mínimas por ambiente foram reproduzidas com concordância integral em relação às referências utilizadas (soluções manuais e gabaritos). Adicionalmente, observou-se convergência no tipo de fornecimento obtido para as premissas adotadas, com divergências pontuais apenas quando comparado a soluções de terceiros que assumiram escopos distintos (por exemplo, inclusão de tomadas de uso específico não previstas no enunciado). Ainda, a integridade elétrica do dimensionamento foi verificada pela manutenção da condição de coordenação entre corrente de projeto, dispositivo de proteção e capacidade de condução do condutor, sem necessidade de redimensionamentos no conjunto de casos analisados.

Do ponto de vista prático, o principal achado é que a aplicação de um agente com regras de cálculo determinísticas e suporte por documentação normativa pode reduzir significativamente o esforço inicial do projetista, oferecendo em curto intervalo de tempo um memorial de cálculo consistente como ponto de partida. Assim, a contribuição do trabalho se posiciona como uma ferramenta de apoio ao processo de projeto: o agente não substitui a responsabilidade técnica do profissional, mas entrega rapidamente uma base estruturada e

verificável, sobre a qual o engenheiro pode evoluir decisões de projeto e detalhes adicionais.

5.2 Contribuições do trabalho

As principais contribuições deste trabalho podem ser sintetizadas como:

- Proposição e implementação de um fluxo metodológico completo para projeto elétrico residencial de baixa tensão, organizado em etapas rastreáveis e alinhadas ao processo técnico de dimensionamento.
- Integração entre um mecanismo de interação (texto e imagem) e rotinas determinísticas de cálculo, assegurando consistência e repetibilidade dos resultados nas etapas normativas do projeto.
- Geração automática de um memorial de cálculo inicial, consolidando critérios adotados, tabelas e resultados do projeto, de forma estruturada e adequada ao uso como ponto de partida técnico.
- Validação em estudos de caso provenientes de contexto didático, com comparação a referências consolidadas, evidenciando conformidade nos itens invariantes normativos e coerência no dimensionamento elétrico resultante.

5.3 Limitações

Apesar dos resultados obtidos, o trabalho apresenta limitações decorrentes do recorte de escopo e das premissas adotadas nesta versão:

- *Escopo técnico parcial do projeto:* a metodologia priorizou as etapas centrais de previsão de cargas, divisão de circuitos, dimensionamento de condutores e proteção e determinação do tipo de fornecimento. Verificações típicas de projeto completo, como queda de tensão, curto-circuito, aterramento, dispositivos diferenciais residuais (DR), seletividade e coordenação com DPS, não foram contempladas nesta versão.
- *Premissas de projeto padronizadas:* foram adotados parâmetros usuais e simplificadores para viabilizar reprodutibilidade, tais como tensão nominal de 220 V, condições de instalação de referência e hipóteses padrão de agrupamento. Embora adequadas ao objetivo do trabalho, tais premissas podem não representar a totalidade de cenários encontrados em projetos reais.
- *Dependência de qualidade da entrada por imagem:* a interpretação de planta baixa em

formato de imagem depende de condições mínimas de legibilidade (qualidade da foto, resolução, presença de rótulos e dimensões), o que limita a robustez em situações com ruído, baixa iluminação ou ausência de informações explícitas.

- *Diretrizes locais e generalização:* a determinação do tipo de fornecimento foi tratada a partir de diretrizes aplicáveis ao contexto local considerado, de modo que a adaptação para outras concessionárias e regiões requer parametrização adicional.
- *Validação em contexto didático:* a avaliação foi conduzida com base em manuais e roteiros de laboratório e em referências acadêmicas. Ainda não foi realizada validação sistemática em projetos reais de escritórios de engenharia, com diversidade maior de cargas específicas, critérios de projetista e cenários de fornecimento.

5.4 Trabalhos futuros

Como continuidade natural deste trabalho, destacam-se as seguintes extensões com potencial de alto impacto:

- *Ampliação do escopo normativo e verificações de projeto:* incorporar rotinas de verificação de queda de tensão, curto-circuito, aterramento, requisitos de DR e restrições adicionais por ambiente, bem como critérios de seletividade e coordenação com DPS, aproximando o agente de um fluxo de projeto completo.
- *Entrada avançada e maior robustez na interpretação da planta:* expandir a entrada para formatos técnicos (por exemplo, arquivos CAD) e aprimorar a extração de informações em plantas por imagem, tornando o processo menos sensível à qualidade da captura.
- *Geração de artefatos de projeto:* além do memorial de cálculo, incluir geração de diagrama unifilar da instalação e do quadro de distribuição, bem como relatórios em formatos adicionais, ampliando a utilidade prática do sistema.
- *Parametrização de critérios de projetista:* permitir que o usuário defina, na etapa conversacional, critérios como método de instalação, fatores de correção e premissas de detalhamento, reduzindo divergências associadas a escolhas de projeto e ampliando a flexibilidade do agente.
- *Validação ampliada com usuários reais:* conduzir estudos com discentes, empresas juniores e profissionais de engenharia elétrica para comparar resultados, coletar feedback, medir ganhos de produtividade e refinar critérios de interação, aproximando a solução de um cenário de uso prático e recorrente.

- *Generalização para múltiplas concessionárias e cenários de fornecimento:* ampliar a base de diretrizes de fornecimento, incluindo regras de diferentes concessionárias, e avaliar sistematicamente casos com fornecimento bifásico e trifásico com balanceamento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. Errata 1: 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410 Errata 1**. Rio de Janeiro, 2008.
- CREDER, H. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- Enel. **Especificação Técnica n.º 0124: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição**. Brasil, 2022. Versão n.º 03. Cód.: CNC-OMBR-MAT-18-0124-EDCE.
- FILHO, J. M. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- JI, Z.; LEE, N.; FRIESKE, R.; YU, T.; SU, D.; XU, Y.; ISHII, E.; BANG, Y. J.; MADOTTO, A.; FUNG, P. Survey of hallucination in natural language generation. **ACM Computing Surveys**, ACM New York, NY, v. 55, n. 12, p. 1–38, 2023.
- LEWIS, P.; PEREZ, E.; PIKTUS, A.; PETRONI, F.; KARPUKHIN, V.; GOYAL, N.; KÜTTLER, H.; LEWIS, M.; YIH, W.-t.; ROCKTÄSCHEL, T.; RIEDEL, S.; KIELA, D. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive nlp tasks. In: **Advances in Neural Information Processing Systems**. [S.l.]: Curran Associates, Inc., 2020. v. 33, p. 9459–9474.
- NGUYEN, S. S.; KITTUR, J. Review of current and potential uses of large language models in engineering. **Frontiers in Education**, Frontiers, v. 10, 2025.
- Universidade Federal do Ceará. **Prática Nú 08 – Projeto de Instalações Elétricas Residenciais – Parte I**. Fortaleza, CE, 2023. Manual de práticas da disciplina Laboratório de Eletrotécnica.
- Universidade Federal do Ceará. **Materiais, Equipamentos e Instalações Elétricas Prediais: Manual de Práticas de Laboratório**. Fortaleza, CE, 2025. Disciplina TH0182 – Materiais, Equipamentos e Instalações Elétricas Prediais. Edição 2025.1. Manual didático.
- VASWANI, A.; SHAZEER, N.; PARMAR, N.; USZKOREIT, J.; JONES, L.; GOMEZ, A. N.; KAISER, Ł.; POLOSUKHIN, I. Attention is all you need. **Advances in Neural Information Processing Systems**, v. 30, 2017.
- YAO, S.; ZHAO, J.; YU, D.; DU, N.; SHAFRAN, I.; NARASIMHAN, K.; CAO, Y. ReAct: Synergizing reasoning and acting in language models. In: **International Conference on Learning Representations (ICLR)**. [S.l.: s.n.], 2023.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO (ESTUDO DE CASO 1)

MEMORIAL DE CÁLCULO

1. DADOS DA OBRA

Nome da edificação: _____

Endereço: _____

Bairro: _____

Cidade: _____

Estado: _____

Tipo de projeto: Elétrico

Projetistas:

Tipo de uso: Residencial

Nº de Pavimento: _____

Ramal de entrada: _____

Potência Instalada: 7.480 kW

Número de medidores: _____

2. OBJETIVOS

Este memorial tem por objetivo projetar as instalações elétricas da residência situada na _____ . O escopo contempla:

- Definição e quantificação das cargas por ambiente;
- Cálculo da potência instalada e da demanda;
- Divisão de circuitos e dimensionamento dos condutores;
- Especificação e coordenação das proteções;

- Dimensionamento dos eletrodutos e diretrizes de execução.

Todos os critérios de projeto, métodos de cálculo e especificações atendem às normas NBR 5410:2004 e ENEL ET-124/2019. Com base nesses parâmetros, define-se o padrão de entrada/medição e o tipo de fornecimento de energia elétrica da unidade consumidora.

3. METODOLOGIA

Diretrizes gerais

O levantamento de cargas foi realizado conforme a NBR 5410:2004. Nos ambientes em que a norma é omissa (ex.: áreas de entrada), adotaram-se critérios técnicos usuais e boas práticas de projeto.

Para cada equipamento de utilização, considerou-se a potência nominal absorvida informada pelo fabricante; na ausência, a potência foi estimada a partir da tensão nominal, corrente nominal e fator de potência.

Iluminação (IL)

Ponto mínimo: em cada cômodo/dependência, prever ao menos um ponto de luz fixo no teto, com 100 VA, comandado por interruptor de parede.

Dimensionamento por área:

- Até 6 m²: 100 VA;
- Acima de 6 m²: 100 VA para os primeiros 6 m² + 60 VA para cada 4 m² inteiros adicionais.

Observação: quando houver mais de um ponto por ambiente por razões arquitetônicas ou de conforto, a potência total de iluminação do cômodo deve respeitar os valores mínimos acima.

Tomadas de Uso Geral (TUG)

Distribuição mínima

- Banheiros: pelo menos 1 TUG junto ao lavatório.
- Cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e análogos: 1 TUG a cada 3,5 m de perímetro (ou fração). Acima de cada bancada com largura $\geq 0,30$ m, prever pelo menos 1 TUG.
- Halls, corredores, subsolos, garagens, sótãos e varandas: pelo menos 1 TUG.
- Demais cômodos:
- área ≤ 6 m²: pelo menos 1 TUG;
- área > 6 m²: 1 TUG a cada 5 m de perímetro (ou fração), distribuídas uniformemente.

Potência atribuída às TUG

- Cozinhas/copas/áreas de serviço e análogos: 600 VA por TUG até 3 TUG; 100 VA por TUG para as excedentes (considerar cada ambiente separadamente).
- Demais ambientes: 100 VA por TUG.

Tomadas de Uso Específico (TUE)

A potência considerada é a potência nominal do equipamento (ex.: chuveiro elétrico, forno elétrico, ar-condicionado).

Observação de projeto: quando aplicável, prever circuito exclusivo e proteção adequada ao equipamento, conforme os critérios de corrente nominal, queda de tensão admissível e coordenação da proteção definidos na NBR 5410.

4. LEVANTAMENTO DE CARGAS

Carga de Iluminação

O levantamento das potências é feito mediante uma previsão das potências (cargas) mínimas de iluminação e tomadas a serem instaladas, possibilitando determinar a potência total prevista para a instalação elétrica residencial. Essa previsão de carga deve seguir o que estabelece o item 9.5.2 da norma ABNT NBR 5410/08.

- Conforme o item 9.5.2, para os circuitos de iluminação, temos que:
- Em cada cômodo ou dependência com área igual ou inferior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA.
- Em cada cômodo ou dependência com área superior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2 , acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 inteiros.

NOTA 3: Conforme subitem 9.5.2.1.1 da norma ABNT NBR 5410/08, para cada cômodo ou dependência deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, comandado por interruptor.

NOTA 4: Para um projeto luminotécnico completo que considere todas as características do ambiente, usuários da instalação, tipo de atividade, materiais e equipamentos utilizados na instalação, devem ser seguidos os critérios estabelecidos na norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 que trata da iluminância de interiores.

A potência de iluminação foi definida com base no tópico da NBR 5410:2008 citado na seção 3 (Metodologia) deste memorial. Tal procedimento foi repetido para todos os cômodos e os resultados estão dispostos na Tabela 1.

Dependências	Área (m^2)	Perímetro (m)	N pontos de iluminação	Potência total (VA)
Cozinha	12.60	14.30	2	160

WC	5.40	9.40	1	100
Sala	12.00	14.00	2	160
Quarto	9.75	12.50	1	100
Carga Total de Iluminação			6	520

Tabela 1: Cômodos da residência com suas respectivas cargas de iluminação.

Tomadas de Uso Geral (TUG)

De forma análoga, a quantidade de TUGs foi definida com base no tópico da NBR 5410:2008 citado na seção 3 (Metodologia) deste memorial. Tal procedimento foi repetido para todos os cômodos, utilizando critérios específicos conforme o tipo de ambiente.

- Conforme o item 9.5.2, para os circuitos de tomadas de uso geral, temos que:
- Em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório, atendendo as restrições do item 9.1 da norma ABNT NBR 5410/08. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada prevista de no mínimo 600 VA por tomada.
- Em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais semelhantes, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro, independentemente da área. Neste caso, deve-se atribuir as potências demandadas de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os pontos excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente.
- Em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada. Admite-se que o ponto de tomada não seja instalado na própria varanda, mas próximo ao seu acesso, quando a varanda, por razões construtivas, não o comportar, quando sua área for inferior a 2 m², ou ainda quando sua profundidade for inferior a 0,80 m. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.
- Em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, independente da área. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.
- Em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 6 m², e um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m². Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.

NOTA 5: Para uma boa prática de projeto é importante sempre que possível observar o layout da planta onde serão realizadas as instalações, além de considerações como padrão dos usuários, visto que isso influencia nas potências a serem utilizadas.

Dependências	Área (m²)	Perímetro (m)	N de pontos 100 VA	N de pontos 600 VA	Potência Total (VA)
Cozinha	12.60	14.30	2	3	2000
WC	5.40	9.40	0	1	600

Sala	12.00	14.00	3	0	300
Quarto	9.75	12.50	3	0	300
Carga Total de TUG			8	4	3200

Tabela 2: Cômodos da residência com suas respectivas cargas de tomadas de uso geral (TUG).

Tomadas de Uso Específico (TUE)

Conforme o subitem 9.5.3.1 da norma ABNT NBR 5410/08, todo ponto de utilização previsto para alimentar, de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, equipamento com corrente nominal superior a 10 A deve constituir um circuito independente, configurando assim os circuitos de tomadas de uso específico. Isto não impede que sejam criados pontos de tomada de uso específico ou exclusivo para equipamentos que também possuem corrente inferior a 10 A, porém possuem características de operação motrizes ou cargas eletrônicas sensíveis (Ex: Ar Condicionado, Máquina de Lavar, Computadores, etc).

EXEMPLO: Um condicionador de ar monofásico, tensão de alimentação 220 V, de 21.000 BTU's com potência de 3,08 kW, fator de potência de 0,9 e corrente nominal de 15,5 A.

NOTA 6: Projetistas no mercado utilizam usualmente cargas de condicionadores de ar, chuveiro elétrico, aquecedores resistivos e em alguns casos computadores como circuitos de tomadas de uso específico.

NOTA 7: As potências absorvidas dos equipamentos podem ser consultadas nos manuais e sites dos seus respectivos fabricantes.

A potência considerada neste projeto é a potência nominal do equipamento informada pelo fabricante ou especificada no projeto.

Não há tomadas de uso específico (TUE) previstas neste projeto.

Carga total instalada na residência

Circuito	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (VA)
Iluminação	520	520
Tomadas de Uso Geral	2560	3200
Tomadas de Uso Específico	0	0
Total	3080	3720

Quadro do Resumo de cargas

5. DIVISÃO DOS CIRCUITOS TERMINAIS

Toda instalação elétrica deve ser dividida em circuitos terminais, de acordo com as particularidades de cada circuito, visando seccionamento sem risco de realimentação inadvertida. A divisão da instalação em circuitos terminais facilita a operação e manutenção, além de reduzir a interferência entre os pontos de utilização.

Divisão das cargas de iluminação (Boas práticas)

- Limitar a potência máxima dos circuitos de iluminação em 1300 VA/1500 VA nas tensões 110 V/127V e em 2500 VA na tensão 220 V.
- Não é proibida a utilização de apenas um circuito terminal de iluminação que contemple todos os ambientes.
- Deve-se prever circuitos de iluminação separados dos circuitos de tomadas de uso geral.

Divisão das cargas de tomadas

- Conforme subitem 9.5.3.1 da norma ABNT NBR 5410/08, todo ponto de utilização previsto para alimentar, de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, equipamento com corrente nominal superior a 10 A deve constituir um circuito independente. Também devem ser previstos circuitos exclusivos para cada T.U.E.
- Conforme o item 9.5.3.2 da norma ABNT NBR 5410/08, os pontos de tomada de cozinhas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais semelhantes devem ser atendidos por circuitos exclusivamente destinados à alimentação de tomadas desses locais (circuitos individuais tanto quanto forem necessários).
- Limitar a potência máxima dos circuitos de T.U.G.'s em 2100 VA/2500 VA nas tensões 110 V/127 V e em 4300 VA na tensão 220 V. (Boas práticas para não ultrapassar os valores de disjuntores acima de 20A)
- Nas instalações alimentadas com duas ou três fases, as cargas devem ser distribuídas entre as fases de modo a obter-se o maior equilíbrio possível.

Previsão e prescrição dos circuitos reservas

É necessário que o projetista efetue uma previsão de aumento de carga devido às ampliações futuras na instalação. A norma ABNT NBR 5410/08 define que deverá ser prevista nos quadros de distribuição uma capacidade de reserva (espaço) que permita às ampliações futuras da instalação elétrica interna, compatível com a quantidade e tipo de circuitos efetivamente previstos.

A potência reservada para cada circuito fica a critério do projetista. Contudo, é de prática comum a adoção de potências de 2200 VA ou 4400 VA.

Tabela dos circuitos de iluminação e tomadas

O próximo passo é dividir todas as cargas previstas de iluminação e tomadas (uso geral e uso específico) em circuitos terminais para que se possa determinar a potência instalada. Para isto, deve-se somar as potências de cada um dos circuitos em Watts.

NOTA 8: A soma algébrica da potência em VA só pode ser realizada se o fator de potência for o mesmo para todas as cargas.

NOTA 9: Para efeito de cálculo da potência instalada no exemplo proposto, poderão ser considerados os seguintes valores para o fator de potência:

- Iluminação incandescente / Iluminação em LED: FP = 1,0.

- Iluminação fluorescente: FP = 0,85.
- Tomadas de uso geral: FP = 0,80.

NOTA 10: Para tomadas de uso específico, o fator de potência é especificado de acordo com o equipamento. Por exemplo:

- Chuveiro elétrico: FP = 1,0 (carga puramente resistiva).
- Condicionador de ar: Valores variam de acordo com as características do equipamento, entre FP = 0,80 e FP = 0,95.

Número do Circuito	Tipo	Dependências	Descrição	Potência (VA)	FP	Potência (W)
1	ILUMINAÇÃO	Cozinha, Sala, WC, Quarto	Iluminação geral	520	1.00	520
2	TUG	Cozinha	TUGs Cozinha	2000	0.80	1600
3	TUG	WC, Sala, Quarto	TUGs agrupadas	1200	0.80	960
4	RESERVA	-	Circuito Reserva 1	2200	1.00	2200
5	RESERVA	-	Circuito Reserva 2	2200	1.00	2200
Total				8120		7480

Tabela 4: Divisão dos circuitos terminais de iluminação e tomadas.

6. PADRÃO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA E DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES DE ENTRADA E PROTEÇÃO GERAL

Com base na carga instalada calculada e nas normas da distribuidora ENEL Ceará, determina-se o padrão de fornecimento de energia elétrica, incluindo o tipo de sistema (monofásico, bifásico ou trifásico), a potência contratada, o disjuntor principal e a seção dos condutores de entrada.

Especificações de Fornecimento (ENEL Ceará)

Carga Instalada	7.48 kW
Tipo de Fornecimento	Monofásica
Disjuntor Principal	32 A
Potência Contratada	7.04 kVA
Seção do Condutor de Entrada	4 mm ²

Observações sobre o Dimensionamento

O dimensionamento dos condutores de entrada e da proteção geral foi realizado conforme as normas ABNT NBR 5410/2008 e as especificações da distribuidora ENEL Ceará, garantindo segurança, eficiência e conformidade regulatória.

A tensão nominal de fornecimento é de 220 V (fase-neutro) / 380 V (fase-fase) para sistemas trifásicos, 127 V (fase-neutro) / 220 V (fase-fase) para sistemas bifásicos, e 127 V para sistemas monofásicos, conforme padrões da concessionária.

O disjuntor principal dimensionado oferece proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, além de permitir a seccionamento da instalação para manutenção e emergências.

7. BALANCEAMENTO DE CARGAS

O padrão de fornecimento determinado não é trifásico. Para sistemas monofásicos ou bifásicos, não é necessário balanceamento de cargas entre múltiplas fases.

8. DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

O dimensionamento dos condutores é realizado conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 5410/08, considerando a capacidade máxima de condução de corrente e as seções mínimas obrigatórias.

Critério da capacidade máxima de condução de corrente

A corrente do circuito projetado (IB) deve ser menor ou igual à capacidade de condução de corrente do condutor (IZ):

- $IB \leq IZ$
- Onde IZ é determinado pelas Tabelas 33, 36, 37, 38 e 39 da NBR 5410/08, considerando tipo de linha elétrica, tipo de isolamento dos condutores e temperatura de referência do ambiente (30°C no ar / 20°C no solo).

Critério da seção mínima

Conforme subitem 6.2.6.1 da norma ABNT NBR 5410/08, para condutores de cobre:

- $S = 1,5 \text{ mm}^2$ para circuitos de iluminação.
- $S = 2,5 \text{ mm}^2$ para circuitos de força.
- Ao comparar a seção dos condutores por ambos os critérios, deve-se especificar a maior seção encontrada.

Método de Referência Utilizado

Considerando que todos os eletrodutos são de PVC, embutidos em alvenaria (parede ou forro) e a temperatura ambiente de 30°C, foi utilizado o critério B1 da NBR 5410/08 para o dimensionamento dos condutores.

O método B1 considera condutores isolados termicamente (PVC), em eletroduto embutido em parede ou forro, com temperatura ambiente de referência de 30°C e isolamento termicamente adjacente.

NOTA 11: Ao se comparar a seção dos condutores de fase por ambos os critérios citados acima, deve-se especificar este de acordo com a maior seção encontrada entre os dois critérios.

Dimensionamento dos condutores de proteção (PE)

Conforme o subitem 6.4.3.1.3 da norma ABNT NBR 5410/08, a seção mínima dos condutores de proteção (PE) é determinada através da Tabela 58 da norma, de acordo com os critérios abaixo:

Seção dos condutores de fase S (mm ²)	Seção mínima do condutor de proteção (mm ²)
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

Figura 2.3: Seção mínima do condutor de proteção [Fonte: Norma ABNT NBR 5410/08 – Tabela 58].

Dimensionamento dos condutores de neutro

Conforme o subitem 6.2.6.2 da norma ABNT NBR 5410/08, a seção mínima do condutor de neutro é determinada através da Tabela 48 da norma, de acordo com os critérios abaixo:

Seção dos condutores de fase (mm ²)	Seção reduzida do condutor neutro (mm ²)
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150

- ¹⁾ As condições de utilização desta tabela são dadas em 6.2.6.2.6.
- OBS: Em circuitos monofásicos o condutor neutro é igual à FASE.

Figura 2.4: Seção reduzida do condutor neutro [Fonte: Norma ABNT NBR 5410/08 – Tabela 48].

Tabela das Seções dos Cabos

Segundo estes critérios, montou-se a tabela abaixo para as bitolas dos condutores de cobre:

Circuito	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Fase (mm ²)	Neutro (mm ²)	Proteção (mm ²)
C01	520.0	220	2.4	1.5	1.5	1.5

C02	1600.0	220	9.1	2.5	2.5	2.5
C03	960.0	220	5.5	2.5	2.5	2.5
C04	2200.0	220	10.0	2.5	2.5	2.5
C05	2200.0	220	10.0	2.5	2.5	2.5

Tabela 6: Dimensionamento dos condutores de cobre - Método B1.

Foram dimensionados 5 circuitos com corrente total de 37.0 A. Todos os condutores atendem aos critérios de seção mínima e capacidade de corrente da NBR 5410/08.

9. DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES

Os disjuntores são dispositivos de proteção essenciais em instalações elétricas, destinados a proteger os circuitos contra sobrecargas e curtos-circuitos, além de permitir a manobra manual da instalação.

Conceito e Função dos Disjuntores

Um disjuntor é um dispositivo eletromecânico que funciona como um interruptor automático, destinado a proteger uma instalação elétrica contra possíveis danos causados por sobrecargas e curtos-circuitos. Sua função básica é detectar picos de corrente que ultrapassem o adequado para o circuito, interrompendo-a imediatamente antes que os seus efeitos térmicos e mecânicos possam causar danos à instalação elétrica protegida.

Diferentemente dos fusíveis, os disjuntores podem ser rearmados manualmente após interromperem a corrente devido a uma falha. Além de dispositivos de proteção, os disjuntores também servem como dispositivos de manobra, funcionando como interruptores normais que permitem interromper manualmente a passagem de corrente elétrica.

Características dos Disjuntores

Os seguintes itens devem ser discriminados na especificação dos disjuntores:

- Corrente nominal de operação.
- Capacidade de interrupção.
- Tensão nominal.
- Frequência nominal.
- Tipo (térmico, magnético, termomagnético, ajustável, etc.).

Critérios de Dimensionamento

O dimensionamento dos disjuntores deve satisfazer o critério estabelecido pela NBR 5410/2008:

- $IB \leq IN \leq IZ$
- Onde:
- IB: Corrente do circuito projetado (corrente de projeto)
- IN: Corrente nominal do disjuntor

- IZ: Capacidade de condução dos condutores (de acordo com as características de instalação)

O item 5.3.4 da NBR 5410/2008 estabelece que a proteção deve interromper a corrente de sobrecarga antes do aquecimento excessivo dos condutores, satisfazendo as seguintes inequações:

- $IB \leq IN$
- $IN \leq IZ$

Proteção contra Correntes de Sobrecarga

Para proteção contra sobrecargas, a corrente convencional de atuação (I_2) deve satisfazer:

- $IN \leq I_2/a$

Onde o parâmetro "a" assume diferentes valores dependendo da norma específica:

- NBR IEC 60947-2: $a = 1,30$ (a quente a 30°C)
- NBR 5361: $a = 1,35$ (a frio a 25°C)
- NBR IEC 60898: $a = 1,45$ (a quente a 30°C)
- NBR 11840: $a = 1,6$

NOTA 12: Alguns valores comerciais de correntes dos disjuntores são 3, 6, 8, 10, 13, 15, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 ampères. Além da especificação da corrente nominal, deve-se também atentar para a corrente máxima de interrupção do dispositivo (parâmetro determinado pelo nível de curto circuito da instalação) e para a tensão nominal de operação.

Tabela de Dimensionamento dos Disjuntores

A tabela abaixo apresenta o dimensionamento dos disjuntores para cada circuito, seguindo o critério $IB \leq IN \leq IZ$:

Circuito	IB (A)	IZ (A)	IN (A)	Seção (mm ²)	Redimensionado
C01	2.4	17.5	3	1.5	Não
C02	9.1	24	10	2.5	Não
C03	5.5	24	6	2.5	Não
C04	10.0	24	10	2.5	Não
C05	10.0	24	10	2.5	Não

Tabela 7: Dimensionamento dos disjuntores - Método B1.

Foram dimensionados disjuntores para 5 circuitos. Destes, 0 tiveram seus cabos redimensionados para encontrar disjuntores adequados, e 0 não possuem disjuntor comercial adequado disponível.

10. RESUMO

Esta seção apresenta um resumo consolidado das informações do projeto elétrico, incluindo dados por dependência, divisão de circuitos, dimensionamento completo dos circuitos, seções dos condutores e especificações do padrão de fornecimento.

Resumo por Dependência

Dependência	Área (m²)	Perímetro (m)	Potência de Iluminação (VA)	Tomadas de Uso Geral - Quantidade em 600 VA	Tomadas de Uso Geral - Quantidade em 100 VA	Potência Nominal de Tomadas (VA)
Cozinha	12.60	14.30	160	3	2	2000
WC	5.40	9.40	100	1	0	600
Sala	12.00	14.00	160	0	3	300
Quarto	9.75	12.50	100	0	3	300
Total	39.75	50.20	520	4	8	3200

Tabela 8: Resumo por dependência com cargas de iluminação e tomadas de uso geral.

Divisão dos Circuitos Terminais

Circuito	Descrição do Circuito	Potência em VA
C01	Iluminação geral	520
C02	TUGs Cozinha	2000
C03	TUGs agrupadas	1200
C04	Circuito Reserva 1	2200
C05	Circuito Reserva 2	2200
Total		8120

Tabela 9: Divisão dos circuitos terminais.

Tabela Completa de Circuitos

Circuito	Potência VA	Potência W	Fator de Potência	Corrente de Projeto (A)	Disjuntor (A)	N de circuitos agrupados	Fator de correção (circuitos agrupados)	Corrente corrigida (A)	Seção do fio (mm²)
C01	520	520	1.00	2.36	3	3	0.70	3.38	1.5
C02	2000	1600	0.80	7.27	10	3	0.70	10.39	2.5
C03	1200	960	0.80	4.36	6	3	0.70	6.23	2.5
C04	2200	2200	1.00	10.00	10	3	0.70	14.29	2.5
C05	2200	2200	1.00	10.00	10	3	0.70	14.29	2.5

Tabela 10: Tabela completa de circuitos com dimensionamento.

Seção dos Condutores

Circuito	Seção da Fase (mm²)	Seção do Neutro (mm²)	Seção do condutor de proteção (mm²)
C01	1.5	1.5	1.5

C02	2.5	2.5	2.5
C03	2.5	2.5	2.5
C04	2.5	2.5	2.5
C05	2.5	2.5	2.5

Tabela 11: Seção dos condutores (fase, neutro e proteção).

Carga Total e Tipo de Fornecimento

Carga Total Instalada (kW)	Tipo de fornecimento	Condutor Mínimo de Alimentação (mm²)	Disjuntor Geral (A)
7.48	Monofásica	4.0	32

Tabela 12: Carga total instalada e especificações do padrão de fornecimento.

APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO (ESTUDO DE CASO 2)

MEMORIAL DE CÁLCULO

1. DADOS DA OBRA

Nome da edificação: _____

Endereço: _____

Bairro: _____

Cidade: _____

Estado: _____

Tipo de projeto: Elétrico

Projetistas:

Tipo de uso: Residencial

Nº de Pavimento: _____

Ramal de entrada: _____

Potência Instalada: 7.920 kW

Número de medidores: _____

2. OBJETIVOS

Este memorial tem por objetivo projetar as instalações elétricas da residência situada na _____ . O escopo contempla:

- Definição e quantificação das cargas por ambiente;
- Cálculo da potência instalada e da demanda;
- Divisão de circuitos e dimensionamento dos condutores;
- Especificação e coordenação das proteções;

- Dimensionamento dos eletrodutos e diretrizes de execução.

Todos os critérios de projeto, métodos de cálculo e especificações atendem às normas NBR 5410:2004 e ENEL ET-124/2019. Com base nesses parâmetros, define-se o padrão de entrada/medição e o tipo de fornecimento de energia elétrica da unidade consumidora.

3. METODOLOGIA

Diretrizes gerais

O levantamento de cargas foi realizado conforme a NBR 5410:2004. Nos ambientes em que a norma é omissa (ex.: áreas de entrada), adotaram-se critérios técnicos usuais e boas práticas de projeto.

Para cada equipamento de utilização, considerou-se a potência nominal absorvida informada pelo fabricante; na ausência, a potência foi estimada a partir da tensão nominal, corrente nominal e fator de potência.

Iluminação (IL)

Ponto mínimo: em cada cômodo/dependência, prever ao menos um ponto de luz fixo no teto, com 100 VA, comandado por interruptor de parede.

Dimensionamento por área:

- Até 6 m²: 100 VA;
- Acima de 6 m²: 100 VA para os primeiros 6 m² + 60 VA para cada 4 m² inteiros adicionais.

Observação: quando houver mais de um ponto por ambiente por razões arquitetônicas ou de conforto, a potência total de iluminação do cômodo deve respeitar os valores mínimos acima.

Tomadas de Uso Geral (TUG)

Distribuição mínima

- Banheiros: pelo menos 1 TUG junto ao lavatório.
- Cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e análogos: 1 TUG a cada 3,5 m de perímetro (ou fração). Acima de cada bancada com largura $\geq 0,30$ m, prever pelo menos 1 TUG.
- Halls, corredores, subsolos, garagens, sótãos e varandas: pelo menos 1 TUG.
- Demais cômodos:
- área ≤ 6 m²: pelo menos 1 TUG;
- área > 6 m²: 1 TUG a cada 5 m de perímetro (ou fração), distribuídas uniformemente.

Potência atribuída às TUG

- Cozinhas/copas/áreas de serviço e análogos: 600 VA por TUG até 3 TUG; 100 VA por TUG para as excedentes (considerar cada ambiente separadamente).
- Demais ambientes: 100 VA por TUG.

Tomadas de Uso Específico (TUE)

A potência considerada é a potência nominal do equipamento (ex.: chuveiro elétrico, forno elétrico, ar-condicionado).

Observação de projeto: quando aplicável, prever circuito exclusivo e proteção adequada ao equipamento, conforme os critérios de corrente nominal, queda de tensão admissível e coordenação da proteção definidos na NBR 5410.

4. LEVANTAMENTO DE CARGAS

Carga de Iluminação

O levantamento das potências é feito mediante uma previsão das potências (cargas) mínimas de iluminação e tomadas a serem instaladas, possibilitando determinar a potência total prevista para a instalação elétrica residencial. Essa previsão de carga deve seguir o que estabelece o item 9.5.2 da norma ABNT NBR 5410/08.

- Conforme o item 9.5.2, para os circuitos de iluminação, temos que:
- Em cada cômodo ou dependência com área igual ou inferior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA.
- Em cada cômodo ou dependência com área superior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2 , acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 inteiros.

NOTA 3: Conforme subitem 9.5.2.1.1 da norma ABNT NBR 5410/08, para cada cômodo ou dependência deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, comandado por interruptor.

NOTA 4: Para um projeto luminotécnico completo que considere todas as características do ambiente, usuários da instalação, tipo de atividade, materiais e equipamentos utilizados na instalação, devem ser seguidos os critérios estabelecidos na norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 que trata da iluminância de interiores.

A potência de iluminação foi definida com base no tópico da NBR 5410:2008 citado na seção 3 (Metodologia) deste memorial. Tal procedimento foi repetido para todos os cômodos e os resultados estão dispostos na Tabela 1.

Dependências	Área (m^2)	Perímetro (m)	N pontos de iluminação	Potência total (VA)
Cozinha	21.00	20.00	4	280

Sala	13.50	15.00	2	160
Quarto	13.50	15.00	2	160
WC	9.00	12.00	1	100
Circulação	6.00	14.00	1	100
Carga Total de Iluminação			10	800

Tabela 1: Cômodos da residência com suas respectivas cargas de iluminação.

Tomadas de Uso Geral (TUG)

De forma análoga, a quantidade de TUGs foi definida com base no tópico da NBR 5410:2008 citado na seção 3 (Metodologia) deste memorial. Tal procedimento foi repetido para todos os cômodos, utilizando critérios específicos conforme o tipo de ambiente.

- Conforme o item 9.5.2, para os circuitos de tomadas de uso geral, temos que:
- Em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório, atendendo as restrições do item 9.1 da norma ABNT NBR 5410/08. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada prevista de no mínimo 600 VA por tomada.
- Em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais semelhantes, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro, independentemente da área. Neste caso, deve-se atribuir as potências demandadas de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os pontos excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente.
- Em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada. Admite-se que o ponto de tomada não seja instalado na própria varanda, mas próximo ao seu acesso, quando a varanda, por razões construtivas, não o comportar, quando sua área for inferior a 2 m², ou ainda quando sua profundidade for inferior a 0,80 m. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.
- Em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, independente da área. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.
- Em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 6 m², e um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m². Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.

NOTA 5: Para uma boa prática de projeto é importante sempre que possível observar o layout da planta onde serão realizadas as instalações, além de considerações como padrão dos usuários, visto que isso influencia nas potências a serem utilizadas.

Dependências	Área (m²)	Perímetro (m)	N de pontos 100 VA	N de pontos 600 VA	Potência Total (VA)
Cozinha	21.00	20.00	3	3	2100

Sala	13.50	15.00	3	0	300
Quarto	13.50	15.00	3	0	300
WC	9.00	12.00	0	1	600
Circulação	6.00	14.00	1	0	100
Carga Total de TUG			10	4	3400

Tabela 2: Cômodos da residência com suas respectivas cargas de tomadas de uso geral (TUG).

Tomadas de Uso Específico (TUE)

Conforme o subitem 9.5.3.1 da norma ABNT NBR 5410/08, todo ponto de utilização previsto para alimentar, de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, equipamento com corrente nominal superior a 10 A deve constituir um circuito independente, configurando assim os circuitos de tomadas de uso específico. Isto não impede que sejam criados pontos de tomada de uso específico ou exclusivo para equipamentos que também possuem corrente inferior a 10 A, porém possuem características de operação motrizes ou cargas eletrônicas sensíveis (Ex: Ar Condicionado, Máquina de Lavar, Computadores, etc).

EXEMPLO: Um condicionador de ar monofásico, tensão de alimentação 220 V, de 21.000 BTU's com potência de 3,08 kW, fator de potência de 0,9 e corrente nominal de 15,5 A.

NOTA 6: Projetistas no mercado utilizam usualmente cargas de condicionadores de ar, chuveiro elétrico, aquecedores resistivos e em alguns casos computadores como circuitos de tomadas de uso específico.

NOTA 7: As potências absorvidas dos equipamentos podem ser consultadas nos manuais e sites dos seus respectivos fabricantes.

A potência considerada neste projeto é a potência nominal do equipamento informada pelo fabricante ou especificada no projeto.

Não há tomadas de uso específico (TUE) previstas neste projeto.

Carga total instalada na residência

Circuito	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (VA)
Iluminação	800	800
Tomadas de Uso Geral	2720	3400
Tomadas de Uso Específico	0	0
Total	3520	4200

Quadro do Resumo de cargas

5. DIVISÃO DOS CIRCUITOS TERMINAIS

Toda instalação elétrica deve ser dividida em circuitos terminais, de acordo com as particularidades de cada circuito, visando seccionamento sem risco de realimentação inadvertida. A divisão da instalação em circuitos terminais facilita a operação e manutenção, além de reduzir a interferência entre os pontos de utilização.

Divisão das cargas de iluminação (Boas práticas)

- Limitar a potência máxima dos circuitos de iluminação em 1300 VA/1500 VA nas tensões 110 V/127V e em 2500 VA na tensão 220 V.
- Não é proibida a utilização de apenas um circuito terminal de iluminação que contemple todos os ambientes.
- Deve-se prever circuitos de iluminação separados dos circuitos de tomadas de uso geral.

Divisão das cargas de tomadas

- Conforme subitem 9.5.3.1 da norma ABNT NBR 5410/08, todo ponto de utilização previsto para alimentar, de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, equipamento com corrente nominal superior a 10 A deve constituir um circuito independente. Também devem ser previstos circuitos exclusivos para cada T.U.E.
- Conforme o item 9.5.3.2 da norma ABNT NBR 5410/08, os pontos de tomada de cozinhas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais semelhantes devem ser atendidos por circuitos exclusivamente destinados à alimentação de tomadas desses locais (circuitos individuais tanto quanto forem necessários).
- Limitar a potência máxima dos circuitos de T.U.G.'s em 2100 VA/2500 VA nas tensões 110 V/127 V e em 4300 VA na tensão 220 V. (Boas práticas para não ultrapassar os valores de disjuntores acima de 20A)
- Nas instalações alimentadas com duas ou três fases, as cargas devem ser distribuídas entre as fases de modo a obter-se o maior equilíbrio possível.

Previsão e prescrição dos circuitos reservas

É necessário que o projetista efetue uma previsão de aumento de carga devido às ampliações futuras na instalação. A norma ABNT NBR 5410/08 define que deverá ser prevista nos quadros de distribuição uma capacidade de reserva (espaço) que permita às ampliações futuras da instalação elétrica interna, compatível com a quantidade e tipo de circuitos efetivamente previstos.

A potência reservada para cada circuito fica a critério do projetista. Contudo, é de prática comum a adoção de potências de 2200 VA ou 4400 VA.

Tabela dos circuitos de iluminação e tomadas

O próximo passo é dividir todas as cargas previstas de iluminação e tomadas (uso geral e uso específico) em circuitos terminais para que se possa determinar a potência instalada. Para isto, deve-se somar as potências de cada um dos circuitos em Watts.

NOTA 8: A soma algébrica da potência em VA só pode ser realizada se o fator de potência for o mesmo para todas as cargas.

NOTA 9: Para efeito de cálculo da potência instalada no exemplo proposto, poderão ser considerados os seguintes valores para o fator de potência:

- Iluminação incandescente / Iluminação em LED: FP = 1,0.

- Iluminação fluorescente: FP = 0,85.
- Tomadas de uso geral: FP = 0,80.

NOTA 10: Para tomadas de uso específico, o fator de potência é especificado de acordo com o equipamento. Por exemplo:

- Chuveiro elétrico: FP = 1,0 (carga puramente resistiva).
- Condicionador de ar: Valores variam de acordo com as características do equipamento, entre FP = 0,80 e FP = 0,95.

Número do Circuito	Tipo	Dependências	Descrição	Potência (VA)	FP	Potência (W)
1	ILUMINAÇÃO	Cozinha, Sala, Quarto, WC, Circulação	Iluminação geral	800	1.00	800
2	TUG	Cozinha	TUGs Cozinha	2100	0.80	1680
3	TUG	WC, Sala, Quarto, Circulação	TUGs agrupadas	1300	0.80	1040
4	RESERVA	-	Circuito Reserva 1	2200	1.00	2200
5	RESERVA	-	Circuito Reserva 2	2200	1.00	2200
Total				8600		7920

Tabela 4: Divisão dos circuitos terminais de iluminação e tomadas.

6. PADRÃO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA E DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES DE ENTRADA E PROTEÇÃO GERAL

Com base na carga instalada calculada e nas normas da distribuidora ENEL Ceará, determina-se o padrão de fornecimento de energia elétrica, incluindo o tipo de sistema (monofásico, bifásico ou trifásico), a potência contratada, o disjuntor principal e a seção dos condutores de entrada.

Especificações de Fornecimento (ENEL Ceará)

Carga Instalada	7.92 kW
Tipo de Fornecimento	Monofásica
Disjuntor Principal	32 A
Potência Contratada	7.04 kVA
Seção do Condutor de Entrada	4 mm ²

Observações sobre o Dimensionamento

O dimensionamento dos condutores de entrada e da proteção geral foi realizado conforme as normas ABNT NBR 5410/2008 e as especificações da distribuidora ENEL Ceará, garantindo segurança, eficiência e conformidade regulatória.

A tensão nominal de fornecimento é de 220 V (fase-neutro) / 380 V (fase-fase) para sistemas trifásicos, 127 V (fase-neutro) / 220 V (fase-fase) para sistemas bifásicos, e 127 V para sistemas monofásicos, conforme padrões da concessionária.

O disjuntor principal dimensionado oferece proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, além de permitir a seccionamento da instalação para manutenção e emergências.

7. BALANCEAMENTO DE CARGAS

O padrão de fornecimento determinado não é trifásico. Para sistemas monofásicos ou bifásicos, não é necessário balanceamento de cargas entre múltiplas fases.

8. DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

O dimensionamento dos condutores é realizado conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 5410/08, considerando a capacidade máxima de condução de corrente e as seções mínimas obrigatórias.

Critério da capacidade máxima de condução de corrente

A corrente do circuito projetado (IB) deve ser menor ou igual à capacidade de condução de corrente do condutor (IZ):

- $IB \leq IZ$
- Onde IZ é determinado pelas Tabelas 33, 36, 37, 38 e 39 da NBR 5410/08, considerando tipo de linha elétrica, tipo de isolamento dos condutores e temperatura de referência do ambiente (30°C no ar / 20°C no solo).

Critério da seção mínima

Conforme subitem 6.2.6.1 da norma ABNT NBR 5410/08, para condutores de cobre:

- $S = 1,5 \text{ mm}^2$ para circuitos de iluminação.
- $S = 2,5 \text{ mm}^2$ para circuitos de força.
- Ao comparar a seção dos condutores por ambos os critérios, deve-se especificar a maior seção encontrada.

Método de Referência Utilizado

Considerando que todos os eletrodutos são de PVC, embutidos em alvenaria (parede ou forro) e a temperatura ambiente de 30°C, foi utilizado o critério B1 da NBR 5410/08 para o dimensionamento dos condutores.

O método B1 considera condutores isolados termicamente (PVC), em eletroduto embutido em parede ou forro, com temperatura ambiente de referência de 30°C e isolamento termicamente adjacente.

NOTA 11: Ao se comparar a seção dos condutores de fase por ambos os critérios citados acima, deve-se especificar este de acordo com a maior seção encontrada entre os dois critérios.

Dimensionamento dos condutores de proteção (PE)

Conforme o subitem 6.4.3.1.3 da norma ABNT NBR 5410/08, a seção mínima dos condutores de proteção (PE) é determinada através da Tabela 58 da norma, de acordo com os critérios abaixo:

Seção dos condutores de fase S (mm ²)	Seção mínima do condutor de proteção (mm ²)
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

Figura 2.3: Seção mínima do condutor de proteção [Fonte: Norma ABNT NBR 5410/08 – Tabela 58].

Dimensionamento dos condutores de neutro

Conforme o subitem 6.2.6.2 da norma ABNT NBR 5410/08, a seção mínima do condutor de neutro é determinada através da Tabela 48 da norma, de acordo com os critérios abaixo:

Seção dos condutores de fase (mm ²)	Seção reduzida do condutor neutro (mm ²)
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150

- ¹⁾ As condições de utilização desta tabela são dadas em 6.2.6.2.6.
- OBS: Em circuitos monofásicos o condutor neutro é igual à FASE.

Figura 2.4: Seção reduzida do condutor neutro [Fonte: Norma ABNT NBR 5410/08 – Tabela 48].

Tabela das Seções dos Cabos

Segundo estes critérios, montou-se a tabela abaixo para as bitolas dos condutores de cobre:

Circuito	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Fase (mm ²)	Neutro (mm ²)	Proteção (mm ²)
C01	800.0	220	3.6	1.5	1.5	1.5

C02	1680.0	220	9.5	2.5	2.5	2.5
C03	1040.0	220	5.9	2.5	2.5	2.5
C04	2200.0	220	10.0	2.5	2.5	2.5
C05	2200.0	220	10.0	2.5	2.5	2.5

Tabela 6: Dimensionamento dos condutores de cobre - Método B1.

Foram dimensionados 5 circuitos com corrente total de 39.0 A. Todos os condutores atendem aos critérios de seção mínima e capacidade de corrente da NBR 5410/08.

9. DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES

Os disjuntores são dispositivos de proteção essenciais em instalações elétricas, destinados a proteger os circuitos contra sobrecargas e curtos-circuitos, além de permitir a manobra manual da instalação.

Conceito e Função dos Disjuntores

Um disjuntor é um dispositivo eletromecânico que funciona como um interruptor automático, destinado a proteger uma instalação elétrica contra possíveis danos causados por sobrecargas e curtos-circuitos. Sua função básica é detectar picos de corrente que ultrapassem o adequado para o circuito, interrompendo-a imediatamente antes que os seus efeitos térmicos e mecânicos possam causar danos à instalação elétrica protegida.

Diferentemente dos fusíveis, os disjuntores podem ser rearmados manualmente após interromperem a corrente devido a uma falha. Além de dispositivos de proteção, os disjuntores também servem como dispositivos de manobra, funcionando como interruptores normais que permitem interromper manualmente a passagem de corrente elétrica.

Características dos Disjuntores

Os seguintes itens devem ser discriminados na especificação dos disjuntores:

- Corrente nominal de operação.
- Capacidade de interrupção.
- Tensão nominal.
- Frequência nominal.
- Tipo (térmico, magnético, termomagnético, ajustável, etc.).

Critérios de Dimensionamento

O dimensionamento dos disjuntores deve satisfazer o critério estabelecido pela NBR 5410/2008:

- $IB \leq IN \leq IZ$
- Onde:
- IB: Corrente do circuito projetado (corrente de projeto)
- IN: Corrente nominal do disjuntor

- IZ: Capacidade de condução dos condutores (de acordo com as características de instalação)

O item 5.3.4 da NBR 5410/2008 estabelece que a proteção deve interromper a corrente de sobrecarga antes do aquecimento excessivo dos condutores, satisfazendo as seguintes inequações:

- $IB \leq IN$
- $IN \leq IZ$

Proteção contra Correntes de Sobrecarga

Para proteção contra sobrecargas, a corrente convencional de atuação (I_2) deve satisfazer:

- $IN \leq I_2/a$

Onde o parâmetro "a" assume diferentes valores dependendo da norma específica:

- NBR IEC 60947-2: $a = 1,30$ (a quente a 30°C)
- NBR 5361: $a = 1,35$ (a frio a 25°C)
- NBR IEC 60898: $a = 1,45$ (a quente a 30°C)
- NBR 11840: $a = 1,6$

NOTA 12: Alguns valores comerciais de correntes dos disjuntores são 3, 6, 8, 10, 13, 15, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 ampères. Além da especificação da corrente nominal, deve-se também atentar para a corrente máxima de interrupção do dispositivo (parâmetro determinado pelo nível de curto circuito da instalação) e para a tensão nominal de operação.

Tabela de Dimensionamento dos Disjuntores

A tabela abaixo apresenta o dimensionamento dos disjuntores para cada circuito, seguindo o critério $IB \leq IN \leq IZ$:

Circuito	IB (A)	IZ (A)	IN (A)	Seção (mm ²)	Redimensionado
C01	3.6	17.5	6	1.5	Não
C02	9.5	24	10	2.5	Não
C03	5.9	24	6	2.5	Não
C04	10.0	24	10	2.5	Não
C05	10.0	24	10	2.5	Não

Tabela 7: Dimensionamento dos disjuntores - Método B1.

Foram dimensionados disjuntores para 5 circuitos. Destes, 0 tiveram seus cabos redimensionados para encontrar disjuntores adequados, e 0 não possuem disjuntor comercial adequado disponível.

10. RESUMO

Esta seção apresenta um resumo consolidado das informações do projeto elétrico, incluindo dados por dependência, divisão de circuitos, dimensionamento completo dos circuitos, seções dos condutores e especificações do padrão de fornecimento.

Resumo por Dependência

Dependência	Área (m²)	Perímetro (m)	Potência de Iluminação (VA)	Tomadas de Uso Geral - Quantidade em 600 VA	Tomadas de Uso Geral - Quantidade em 100 VA	Potência Nominal de Tomadas (VA)
Cozinha	21.00	20.00	280	3	3	2100
Sala	13.50	15.00	160	0	3	300
Quarto	13.50	15.00	160	0	3	300
WC	9.00	12.00	100	1	0	600
Circulação	6.00	14.00	100	0	1	100
Total	63.00	76.00	800	4	10	3400

Tabela 8: Resumo por dependência com cargas de iluminação e tomadas de uso geral.

Divisão dos Circuitos Terminais

Circuito	Descrição do Circuito	Potência em VA
C01	Iluminação geral	800
C02	TUGs Cozinha	2100
C03	TUGs agrupadas	1300
C04	Circuito Reserva 1	2200
C05	Circuito Reserva 2	2200
Total		8600

Tabela 9: Divisão dos circuitos terminais.

Tabela Completa de Circuitos

Circuito	Potência VA	Potência W	Fator de Potência	Corrente de Projeto (A)	Disjuntor (A)	N de circuitos agrupados	Fator de correção (circuitos agrupados)	Corrente corrigida (A)	Seção do fio (mm²)
C01	800	800	1.00	3.64	6	3	0.70	5.19	1.5
C02	2100	1680	0.80	7.64	10	3	0.70	10.91	2.5
C03	1300	1040	0.80	4.73	6	3	0.70	6.75	2.5
C04	2200	2200	1.00	10.00	10	3	0.70	14.29	2.5
C05	2200	2200	1.00	10.00	10	3	0.70	14.29	2.5

Tabela 10: Tabela completa de circuitos com dimensionamento.

Seção dos Condutores

Circuito	Seção da Fase (mm²)	Seção do Neutro (mm²)	Seção do condutor de proteção (mm²)
----------	---------------------	-----------------------	-------------------------------------

C01	1.5	1.5	1.5
C02	2.5	2.5	2.5
C03	2.5	2.5	2.5
C04	2.5	2.5	2.5
C05	2.5	2.5	2.5

Tabela 11: Seção dos condutores (fase, neutro e proteção).

Carga Total e Tipo de Fornecimento

Carga Total Instalada (kW)	Tipo de fornecimento	Condutor Mínimo de Alimentação (mm²)	Disjuntor Geral (A)
7.92	Monofásica	4.0	32

Tabela 12: Carga total instalada e especificações do padrão de fornecimento.

APÊNDICE C – MEMORIAL DE CÁLCULO (ESTUDO DE CASO 3)

MEMORIAL DE CÁLCULO

1. DADOS DA OBRA

Nome da edificação: _____

Endereço: _____

Bairro: _____

Cidade: _____

Estado: _____

Tipo de projeto: Elétrico

Projetistas:

Tipo de uso: Residencial

Nº de Pavimento: _____

Ramal de entrada: _____

Potência Instalada: 9.600 kW

Número de medidores: _____

2. OBJETIVOS

Este memorial tem por objetivo projetar as instalações elétricas da residência situada na _____ . O escopo contempla:

- Definição e quantificação das cargas por ambiente;
- Cálculo da potência instalada e da demanda;
- Divisão de circuitos e dimensionamento dos condutores;
- Especificação e coordenação das proteções;

- Dimensionamento dos eletrodutos e diretrizes de execução.

Todos os critérios de projeto, métodos de cálculo e especificações atendem às normas NBR 5410:2004 e ENEL ET-124/2019. Com base nesses parâmetros, define-se o padrão de entrada/medição e o tipo de fornecimento de energia elétrica da unidade consumidora.

3. METODOLOGIA

Diretrizes gerais

O levantamento de cargas foi realizado conforme a NBR 5410:2004. Nos ambientes em que a norma é omissa (ex.: áreas de entrada), adotaram-se critérios técnicos usuais e boas práticas de projeto.

Para cada equipamento de utilização, considerou-se a potência nominal absorvida informada pelo fabricante; na ausência, a potência foi estimada a partir da tensão nominal, corrente nominal e fator de potência.

Iluminação (IL)

Ponto mínimo: em cada cômodo/dependência, prever ao menos um ponto de luz fixo no teto, com 100 VA, comandado por interruptor de parede.

Dimensionamento por área:

- Até 6 m²: 100 VA;
- Acima de 6 m²: 100 VA para os primeiros 6 m² + 60 VA para cada 4 m² inteiros adicionais.

Observação: quando houver mais de um ponto por ambiente por razões arquitetônicas ou de conforto, a potência total de iluminação do cômodo deve respeitar os valores mínimos acima.

Tomadas de Uso Geral (TUG)

Distribuição mínima

- Banheiros: pelo menos 1 TUG junto ao lavatório.
- Cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e análogos: 1 TUG a cada 3,5 m de perímetro (ou fração). Acima de cada bancada com largura $\geq 0,30$ m, prever pelo menos 1 TUG.
- Halls, corredores, subsolos, garagens, sótãos e varandas: pelo menos 1 TUG.
- Demais cômodos:
- área ≤ 6 m²: pelo menos 1 TUG;
- área > 6 m²: 1 TUG a cada 5 m de perímetro (ou fração), distribuídas uniformemente.

Potência atribuída às TUG

- Cozinhas/copas/áreas de serviço e análogos: 600 VA por TUG até 3 TUG; 100 VA por TUG para as excedentes (considerar cada ambiente separadamente).
- Demais ambientes: 100 VA por TUG.

Tomadas de Uso Específico (TUE)

A potência considerada é a potência nominal do equipamento (ex.: chuveiro elétrico, forno elétrico, ar-condicionado).

Observação de projeto: quando aplicável, prever circuito exclusivo e proteção adequada ao equipamento, conforme os critérios de corrente nominal, queda de tensão admissível e coordenação da proteção definidos na NBR 5410.

4. LEVANTAMENTO DE CARGAS

Carga de Iluminação

O levantamento das potências é feito mediante uma previsão das potências (cargas) mínimas de iluminação e tomadas a serem instaladas, possibilitando determinar a potência total prevista para a instalação elétrica residencial. Essa previsão de carga deve seguir o que estabelece o item 9.5.2 da norma ABNT NBR 5410/08.

- Conforme o item 9.5.2, para os circuitos de iluminação, temos que:
- Em cada cômodo ou dependência com área igual ou inferior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA.
- Em cada cômodo ou dependência com área superior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2 , acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 inteiros.

NOTA 3: Conforme subitem 9.5.2.1.1 da norma ABNT NBR 5410/08, para cada cômodo ou dependência deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, comandado por interruptor.

NOTA 4: Para um projeto luminotécnico completo que considere todas as características do ambiente, usuários da instalação, tipo de atividade, materiais e equipamentos utilizados na instalação, devem ser seguidos os critérios estabelecidos na norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 que trata da iluminância de interiores.

A potência de iluminação foi definida com base no tópico da NBR 5410:2008 citado na seção 3 (Metodologia) deste memorial. Tal procedimento foi repetido para todos os cômodos e os resultados estão dispostos na Tabela 1.

Dependências	Área (m^2)	Perímetro (m)	N pontos de iluminação	Potência total (VA)
A. SERVIÇO	5.95	10.30	1	100

DORMITÓRIO 2	10.71	13.10	2	160
BANHEIRO	4.14	8.20	1	100
DORMITÓRIO 1	11.05	13.30	2	160
COZINHA	11.44	13.60	2	160
COPA	9.46	12.30	1	100
SALA	9.91	12.60	1	100
Carga Total de Iluminação			10	880

Tabela 1: Cômodos da residência com suas respectivas cargas de iluminação.

Tomadas de Uso Geral (TUG)

De forma análoga, a quantidade de TUGs foi definida com base no tópico da NBR 5410:2008 citado na seção 3 (Metodologia) deste memorial. Tal procedimento foi repetido para todos os cômodos, utilizando critérios específicos conforme o tipo de ambiente.

- Conforme o item 9.5.2, para os circuitos de tomadas de uso geral, temos que:
- Em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório, atendendo as restrições do item 9.1 da norma ABNT NBR 5410/08. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada prevista de no mínimo 600 VA por tomada.
- Em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais semelhantes, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro, independentemente da área. Neste caso, deve-se atribuir as potências demandadas de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os pontos excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente.
- Em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada. Admite-se que o ponto de tomada não seja instalado na própria varanda, mas próximo ao seu acesso, quando a varanda, por razões construtivas, não o comportar, quando sua área for inferior a 2 m², ou ainda quando sua profundidade for inferior a 0,80 m. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.
- Em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, independente da área. Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.
- Em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 6 m², e um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m². Neste caso, deve-se atribuir a potência demandada de 100 VA por tomada.

NOTA 5: Para uma boa prática de projeto é importante sempre que possível observar o layout da planta onde serão realizadas as instalações, além de considerações como padrão dos usuários, visto que isso influencia nas potências a serem utilizadas.

Dependências	Área (m²)	Perímetro	N de pontos	N de pontos	Potência
---------------------	-----------------------------	------------------	--------------------	--------------------	-----------------

		(m)	100 VA	600 VA	Total (VA)
A. SERVIÇO	5.95	10.30	1	0	100
DORMITÓRIO 2	10.71	13.10	3	0	300
BANHEIRO	4.14	8.20	0	1	600
DORMITÓRIO 1	11.05	13.30	3	0	300
COZINHA	11.44	13.60	1	3	1900
COPA	9.46	12.30	1	3	1900
SALA	9.91	12.60	3	0	300
Carga Total de TUG			12	7	5400

Tabela 2: Cômodos da residência com suas respectivas cargas de tomadas de uso geral (TUG).

Tomadas de Uso Específico (TUE)

Conforme o subitem 9.5.3.1 da norma ABNT NBR 5410/08, todo ponto de utilização previsto para alimentar, de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, equipamento com corrente nominal superior a 10 A deve constituir um circuito independente, configurando assim os circuitos de tomadas de uso específico. Isto não impede que sejam criados pontos de tomada de uso específico ou exclusivo para equipamentos que também possuem corrente inferior a 10 A, porém possuem características de operação motrizes ou cargas eletrônicas sensíveis (Ex: Ar Condicionado, Máquina de Lavar, Computadores, etc).

EXEMPLO: Um condicionador de ar monofásico, tensão de alimentação 220 V, de 21.000 BTU's com potência de 3,08 kW, fator de potência de 0,9 e corrente nominal de 15,5 A.

NOTA 6: Projetistas no mercado utilizam usualmente cargas de condicionadores de ar, chuveiro elétrico, aquecedores resistivos e em alguns casos computadores como circuitos de tomadas de uso específico.

NOTA 7: As potências absorvidas dos equipamentos podem ser consultadas nos manuais e sites dos seus respectivos fabricantes.

A potência considerada neste projeto é a potência nominal do equipamento informada pelo fabricante ou especificada no projeto.

Não há tomadas de uso específico (TUE) previstas neste projeto.

Carga total instalada na residência

Circuito	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (VA)
Iluminação	880	880
Tomadas de Uso Geral	4320	5400
Tomadas de Uso Específico	0	0
Total	5200	6280

Quadro do Resumo de cargas

5. DIVISÃO DOS CIRCUITOS TERMINAIS

Toda instalação elétrica deve ser dividida em circuitos terminais, de acordo com as particularidades de cada circuito, visando seccionamento sem risco de realimentação inadvertida. A divisão da instalação em circuitos terminais facilita a operação e manutenção, além de reduzir a interferência entre os pontos de utilização.

Divisão das cargas de iluminação (Boas práticas)

- Limitar a potência máxima dos circuitos de iluminação em 1300 VA/1500 VA nas tensões 110 V/127V e em 2500 VA na tensão 220 V.
- Não é proibida a utilização de apenas um circuito terminal de iluminação que contemple todos os ambientes.
- Deve-se prever circuitos de iluminação separados dos circuitos de tomadas de uso geral.

Divisão das cargas de tomadas

- Conforme subitem 9.5.3.1 da norma ABNT NBR 5410/08, todo ponto de utilização previsto para alimentar, de modo exclusivo ou virtualmente dedicado, equipamento com corrente nominal superior a 10 A deve constituir um circuito independente. Também devem ser previstos circuitos exclusivos para cada T.U.E.
- Conforme o item 9.5.3.2 da norma ABNT NBR 5410/08, os pontos de tomada de cozinhas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais semelhantes devem ser atendidos por circuitos exclusivamente destinados à alimentação de tomadas desses locais (circuitos individuais tanto quanto forem necessários).
- Limitar a potência máxima dos circuitos de T.U.G.'s em 2100 VA/2500 VA nas tensões 110 V/127 V e em 4300 VA na tensão 220 V. (Boas práticas para não ultrapassar os valores de disjuntores acima de 20A)
- Nas instalações alimentadas com duas ou três fases, as cargas devem ser distribuídas entre as fases de modo a obter-se o maior equilíbrio possível.

Previsão e prescrição dos circuitos reservas

É necessário que o projetista efetue uma previsão de aumento de carga devido às ampliações futuras na instalação. A norma ABNT NBR 5410/08 define que deverá ser prevista nos quadros de distribuição uma capacidade de reserva (espaço) que permita às ampliações futuras da instalação elétrica interna, compatível com a quantidade e tipo de circuitos efetivamente previstos.

A potência reservada para cada circuito fica a critério do projetista. Contudo, é de prática comum a adoção de potências de 2200 VA ou 4400 VA.

Tabela dos circuitos de iluminação e tomadas

O próximo passo é dividir todas as cargas previstas de iluminação e tomadas (uso geral e uso específico) em circuitos terminais para que se possa determinar a potência instalada. Para isto, deve-se somar as potências de cada um dos circuitos em Watts.

NOTA 8: A soma algébrica da potência em VA só pode ser realizada se o fator de potência for o mesmo para todas as cargas.

NOTA 9: Para efeito de cálculo da potência instalada no exemplo proposto, poderão ser considerados os seguintes valores para o fator de potência:

- Iluminação incandescente / Iluminação em LED: FP = 1,0.
- Iluminação fluorescente: FP = 0,85.
- Tomadas de uso geral: FP = 0,80.

NOTA 10: Para tomadas de uso específico, o fator de potência é especificado de acordo com o equipamento. Por exemplo:

- Chuveiro elétrico: FP = 1,0 (carga puramente resistiva).
- Condicionador de ar: Valores variam de acordo com as características do equipamento, entre FP = 0,80 e FP = 0,95.

Número do Circuito	Tipo	Dependências	Descrição	Potência (VA)	FP	Potência (W)
1	ILUMINAÇÃO	DORMITÓRIO 2, DORMITÓRIO 1, COZINHA, A. SERVIÇO, BANHEIRO, COPA, SALA	Iluminação geral	880	1.00	880
2	TUG	A. SERVIÇO	TUGs A. SERVIÇO	100	0.80	80
3	TUG	COZINHA	TUGs COZINHA	1900	0.80	1520
4	TUG	COPA	TUGs COPA	1900	0.80	1520
5	TUG	BANHEIRO, DORMITÓRIO 2, DORMITÓRIO 1, SALA	TUGs agrupadas	1500	0.80	1200
6	RESERVA	-	Circuito Reserva 1	2200	1.00	2200
7	RESERVA	-	Circuito Reserva 2	2200	1.00	2200
Total				10680		9600

Tabela 4: Divisão dos circuitos terminais de iluminação e tomadas.

6. PADRÃO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA E DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES DE ENTRADA E PROTEÇÃO GERAL

Com base na carga instalada calculada e nas normas da distribuidora ENEL Ceará, determina-se o padrão de fornecimento de energia elétrica, incluindo o tipo de sistema (monofásico, bifásico ou trifásico), a potência contratada, o disjuntor principal e a seção dos condutores de entrada.

Especificações de Fornecimento (ENEL Ceará)

Carga Instalada	9.60 kW
Tipo de Fornecimento	Monofásica
Disjuntor Principal	40 A
Potência Contratada	8.8 kVA
Seção do Condutor de Entrada	6 mm ²

Observações sobre o Dimensionamento

O dimensionamento dos condutores de entrada e da proteção geral foi realizado conforme as normas ABNT NBR 5410/2008 e as especificações da distribuidora ENEL Ceará, garantindo segurança, eficiência e conformidade regulatória.

A tensão nominal de fornecimento é de 220 V (fase-neutro) / 380 V (fase-fase) para sistemas trifásicos, 127 V (fase-neutro) / 220 V (fase-fase) para sistemas bifásicos, e 127 V para sistemas monofásicos, conforme padrões da concessionária.

O disjuntor principal dimensionado oferece proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, além de permitir a seccionamento da instalação para manutenção e emergências.

7. BALANCEAMENTO DE CARGAS

O padrão de fornecimento determinado não é trifásico. Para sistemas monofásicos ou bifásicos, não é necessário balanceamento de cargas entre múltiplas fases.

8. DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

O dimensionamento dos condutores é realizado conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 5410/08, considerando a capacidade máxima de condução de corrente e as seções mínimas obrigatórias.

Critério da capacidade máxima de condução de corrente

A corrente do circuito projetado (IB) deve ser menor ou igual à capacidade de condução de corrente do condutor (IZ):

- $IB \leq IZ$

- Onde IZ é determinado pelas Tabelas 33, 36, 37, 38 e 39 da NBR 5410/08, considerando tipo de linha elétrica, tipo de isolamento dos condutores e temperatura de referência do ambiente (30°C no ar / 20°C no solo).

Critério da seção mínima

Conforme subitem 6.2.6.1 da norma ABNT NBR 5410/08, para condutores de cobre:

- $S = 1,5 \text{ mm}^2$ para circuitos de iluminação.
- $S = 2,5 \text{ mm}^2$ para circuitos de força.
- Ao comparar a seção dos condutores por ambos os critérios, deve-se especificar a maior seção encontrada.

Método de Referência Utilizado

Considerando que todos os eletrodutos são de PVC, embutidos em alvenaria (parede ou forro) e a temperatura ambiente de 30°C, foi utilizado o critério B1 da NBR 5410/08 para o dimensionamento dos condutores.

O método B1 considera condutores isolados termicamente (PVC), em eletroduto embutido em parede ou forro, com temperatura ambiente de referência de 30°C e isolamento termicamente adjacente.

NOTA 11: Ao se comparar a seção dos condutores de fase por ambos os critérios citados acima, deve-se especificar este de acordo com a maior seção encontrada entre os dois critérios.

Dimensionamento dos condutores de proteção (PE)

Conforme o subitem 6.4.3.1.3 da norma ABNT NBR 5410/08, a seção mínima dos condutores de proteção (PE) é determinada através da Tabela 58 da norma, de acordo com os critérios abaixo:

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

Figura 2.3: Seção mínima do condutor de proteção [Fonte: Norma ABNT NBR 5410/08 – Tabela 58].

Dimensionamento dos condutores de neutro

Conforme o subitem 6.2.6.2 da norma ABNT NBR 5410/08, a seção mínima do condutor de neutro é determinada através da Tabela 48 da norma, de acordo com os critérios abaixo:

Seção dos condutores de fase (mm ²)	Seção reduzida do condutor neutro (mm ²)
$S \leq 25$	S
35	25
50	25

70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150

- ¹⁾ As condições de utilização desta tabela são dadas em 6.2.6.2.6.
- OBS: Em circuitos monofásicos o condutor neutro é igual à FASE.

Figura 2.4: Seção reduzida do condutor neutro [Fonte: Norma ABNT NBR 5410/08 – Tabela 48].

Tabela das Seções dos Cabos

Segundo estes critérios, montou-se a tabela abaixo para as bitolas dos condutores de cobre:

Circuito	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Fase (mm ²)	Neutro (mm ²)	Proteção (mm ²)
C01	880.0	220	4.0	1.5	1.5	1.5
C02	80.0	220	0.5	2.5	2.5	2.5
C03	1520.0	220	8.6	2.5	2.5	2.5
C04	1520.0	220	8.6	2.5	2.5	2.5
C05	1200.0	220	6.8	2.5	2.5	2.5
C06	2200.0	220	10.0	2.5	2.5	2.5
C07	2200.0	220	10.0	2.5	2.5	2.5

Tabela 6: Dimensionamento dos condutores de cobre - Método B1.

Foram dimensionados 7 circuitos com corrente total de 48.5 A. Todos os condutores atendem aos critérios de seção mínima e capacidade de corrente da NBR 5410/08.

9. DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES

Os disjuntores são dispositivos de proteção essenciais em instalações elétricas, destinados a proteger os circuitos contra sobrecargas e curtos-circuitos, além de permitir a manobra manual da instalação.

Conceito e Função dos Disjuntores

Um disjuntor é um dispositivo eletromecânico que funciona como um interruptor automático, destinado a proteger uma instalação elétrica contra possíveis danos causados por sobrecargas e curtos-circuitos. Sua função básica é detectar picos de corrente que ultrapassem o adequado para o circuito, interrompendo-a imediatamente antes que os seus efeitos térmicos e mecânicos possam causar danos à instalação elétrica protegida.

Diferentemente dos fusíveis, os disjuntores podem ser rearmados manualmente após interromperem a corrente devido a uma falha. Além de dispositivos de proteção, os disjuntores também servem como dispositivos de manobra, funcionando como

interruptores normais que permitem interromper manualmente a passagem de corrente elétrica.

Características dos Disjuntores

Os seguintes itens devem ser discriminados na especificação dos disjuntores:

- Corrente nominal de operação.
- Capacidade de interrupção.
- Tensão nominal.
- Frequência nominal.
- Tipo (térmico, magnético, termomagnético, ajustável, etc.).

Crítérios de Dimensionamento

O dimensionamento dos disjuntores deve satisfazer o critério estabelecido pela NBR 5410/2008:

- $IB \leq IN \leq IZ$
- Onde:
- IB: Corrente do circuito projetado (corrente de projeto)
- IN: Corrente nominal do disjuntor
- IZ: Capacidade de condução dos condutores (de acordo com as características de instalação)

O item 5.3.4 da NBR 5410/2008 estabelece que a proteção deve interromper a corrente de sobrecarga antes do aquecimento excessivo dos condutores, satisfazendo as seguintes inequações:

- $IB \leq IN$
- $IN \leq IZ$

Proteção contra Correntes de Sobrecarga

Para proteção contra sobrecargas, a corrente convencional de atuação (I_2) deve satisfazer:

- $IN \leq I_2/a$

Onde o parâmetro "a" assume diferentes valores dependendo da norma específica:

- NBR IEC 60947-2: $a = 1,30$ (a quente a 30°C)
- NBR 5361: $a = 1,35$ (a frio a 25°C)
- NBR IEC 60898: $a = 1,45$ (a quente a 30°C)
- NBR 11840: $a = 1,6$

NOTA 12: Alguns valores comerciais de correntes dos disjuntores são 3, 6, 8, 10, 13, 15, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 ampères. Além da especificação da corrente nominal, deve-se também atentar para a corrente máxima de interrupção do dispositivo (parâmetro

determinado pelo nível de curto circuito da instalação) e para a tensão nominal de operação.

Tabela de Dimensionamento dos Disjuntores

A tabela abaixo apresenta o dimensionamento dos disjuntores para cada circuito, seguindo o critério $IB \leq IN \leq IZ$:

Circuito	IB (A)	IZ (A)	IN (A)	Seção (mm ²)	Redimensionado
C01	4.0	17.5	6	1.5	Não
C02	0.5	24	3	2.5	Não
C03	8.6	24	10	2.5	Não
C04	8.6	24	10	2.5	Não
C05	6.8	24	8	2.5	Não
C06	10.0	24	10	2.5	Não
C07	10.0	24	10	2.5	Não

Tabela 7: Dimensionamento dos disjuntores - Método B1.

Foram dimensionados disjuntores para 7 circuitos. Destes, 0 tiveram seus cabos redimensionados para encontrar disjuntores adequados, e 0 não possuem disjuntor comercial adequado disponível.

10. RESUMO

Esta seção apresenta um resumo consolidado das informações do projeto elétrico, incluindo dados por dependência, divisão de circuitos, dimensionamento completo dos circuitos, seções dos condutores e especificações do padrão de fornecimento.

Resumo por Dependência

Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Potência de Iluminação (VA)	Tomadas de Uso Geral - Quantidade em 600 VA	Tomadas de Uso Geral - Quantidade em 100 VA	Potência Nominal de Tomadas (VA)
A. SERVIÇO	5.95	10.30	100	0	1	100
DORMITÓRIO 2	10.71	13.10	160	0	3	300
BANHEIRO	4.14	8.20	100	1	0	600
DORMITÓRIO 1	11.05	13.30	160	0	3	300
COZINHA	11.44	13.60	160	3	1	1900
COPA	9.46	12.30	100	3	1	1900
SALA	9.91	12.60	100	0	3	300
Total	62.66	83.40	880	7	12	5400

Tabela 8: Resumo por dependência com cargas de iluminação e tomadas de uso geral.

Divisão dos Circuitos Terminais

Circuito	Descrição do Circuito	Potência em VA
C01	Iluminação geral	880
C02	TUGs A. SERVIÇO	100
C03	TUGs COZINHA	1900
C04	TUGs COPA	1900
C05	TUGs agrupadas	1500
C06	Circuito Reserva 1	2200
C07	Circuito Reserva 2	2200
Total		10680

Tabela 9: Divisão dos circuitos terminais.

Tabela Completa de Circuitos

Circuito	Potência VA	Potência W	Fator de Potência	Corrente de Projeto (A)	Disjuntor (A)	N de circuitos agrupados	Fator de correção (circuitos agrupados)	Corrente corrigida (A)	Seção do fio (mm ²)
C01	880	880	1.00	4.00	6	3	0.70	5.71	1.5
C02	100	80	0.80	0.36	3	3	0.70	0.52	2.5
C03	1900	1520	0.80	6.91	10	3	0.70	9.87	2.5
C04	1900	1520	0.80	6.91	10	3	0.70	9.87	2.5
C05	1500	1200	0.80	5.45	8	3	0.70	7.79	2.5
C06	2200	2200	1.00	10.00	10	3	0.70	14.29	2.5
C07	2200	2200	1.00	10.00	10	3	0.70	14.29	2.5

Tabela 10: Tabela completa de circuitos com dimensionamento.

Seção dos Condutores

Circuito	Seção da Fase (mm ²)	Seção do Neutro (mm ²)	Seção do condutor de proteção (mm ²)
C01	1.5	1.5	1.5
C02	2.5	2.5	2.5
C03	2.5	2.5	2.5
C04	2.5	2.5	2.5
C05	2.5	2.5	2.5
C06	2.5	2.5	2.5
C07	2.5	2.5	2.5

Tabela 11: Seção dos condutores (fase, neutro e proteção).

Carga Total e Tipo de Fornecimento

Carga Total Instalada (kW)	Tipo de fornecimento	Condutor Mínimo de Alimentação (mm ²)	Disjuntor Geral (A)
9.60	Monofásica	6.0	40

Tabela 12: Carga total instalada e especificações do padrão de fornecimento.