

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME LEÃO SOUZA

**AUTOMAÇÃO DA ELABORAÇÃO DE QUADROS DE CARGAS DE
PROJETOS ELÉTRICOS RESIDENCIAIS UTILIZANDO VISÃO
COMPUTACIONAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ITAJAÍ
2026

GUILHERME LEÃO SOUZA

**AUTOMAÇÃO DA ELABORAÇÃO DE QUADROS DE CARGAS DE
PROJETOS ELÉTRICOS RESIDENCIAIS UTILIZANDO VISÃO
COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Campus Itajaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Drummond Lopes
Instituto Federal de Santa Catarina

ITAJAÍ
2026

Ficha de Identificação da obra elaborada pelo autor, através do cadastro de ficha de identificação disponível no portal discente do Sistema Integrado de Gestão Acadêmica - SIGAA, do IFSC.

Souza, Guilherme Leao

Automação da elaboração de quadros de cargas de projetos elétricos residenciais utilizando visão computacional / Guilherme Leão Souza; Orientador(a): Tiago Drummond Lopes. - Itajaí, SC, 2026.

75 p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Itajaí. Curso de Bacharelado Em Engenharia Elétrica.

Inclui referências.

1. Automação. 2. Projeto de Instalações Elétricas. 3. Quadro de Cargas. 4. Redes Neurais. 5. Visão Computacional. I. Lopes, Tiago Drummond. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Curso de Bacharelado Em Engenharia Elétrica. III. Título.


GUILHERME LEÃO SOUZA

**AUTOMAÇÃO DA ELABORAÇÃO DE QUADROS DE CARGAS DE
PROJETOS ELÉTRICOS RESIDENCIAIS UTILIZANDO VISÃO
COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina-Câmpus Itajaí ligado ao Ministério da Educação, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.


Itajaí-SC, 03 de Março de 2026

BANCA EXAMINADORA:

 Documento assinado digitalmente
ENIO DOS SANTOS SILVA
Data: 11/03/2026 16:04:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Enio dos Santos Silva


IFSC Itajaí
Documento assinado digitalmente

 **ADILSON PACHECO BORTOLUZZI**
Data: 13/03/2026 15:32:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adilson Pacheco Bortoluzzi

IFSC Itajaí

Documento assinado digitalmente

 **TIAGO DRUMMOND LOPES**
Data: 12/03/2026 11:01:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Tiago Drummond Lopes

Orientador

ITAJAÍ-SC

2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão ao longo de toda a minha caminhada acadêmica, estando presente tanto nos desafios enfrentados dentro do campus quanto nos momentos fora dele.

Aos colegas de faculdade e de trabalho, pelo conhecimento compartilhado, pelas trocas de experiências e pelos ensinamentos que contribuíram significativamente para minha formação acadêmica e profissional.

À MK Engenharia e aos profissionais que se dispuseram a testar a ferramenta e responder ao questionário de avaliação, pela colaboração, disponibilidade e contribuições importantes para a validação prática deste trabalho.

E, por fim, ao professor orientador Tiago Drummond Lopes, pela orientação, disponibilidade e contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e validação de uma aplicação computacional capaz de automatizar a elaboração de quadro de cargas em projetos de instalações elétricas residenciais, a partir da análise de imagens de plantas baixas. O sistema integra técnicas de visão computacional, redes neurais convolucionais e algoritmos de processamento de imagens, combinando-os com regras estabelecidas pela NBR 5410. A solução proposta utiliza uma primeira rede neural para identificação e segmentação dos cômodos, associando cada ambiente ao seu nome por meio de *Optical Character Recognition* - OCR, e uma segunda rede neural para detecção automática de pontos elétricos, como luminárias e tomadas. Com essas informações, um algoritmo orientado a objetos realiza o cálculo das potências, a divisão dos circuitos e a geração do quadro de cargas final. Uma interface gráfica desenvolvida em Python permite ao usuário carregar a planta baixa, definir parâmetros técnicos e exportar o quadro em formato de planilha. Na etapa de validação da aplicação, foram realizados testes de usabilidade com plantas baixas reais e simuladas, comparando os resultados obtidos com o método manual tradicional. Os testes demonstraram redução significativa no tempo de elaboração, manutenção da precisão necessária e alta confiabilidade nos resultados, conforme avaliado pelos participantes. Conclui-se que a ferramenta desenvolvida é capaz de mitigar erros humanos, padronizar processos e aumentar a eficiência na elaboração de projetos elétricos residenciais, representando uma contribuição relevante ao setor de engenharia de instalações elétricas.

Palavras-chave: Automação, Projeto de instalações elétricas, Quadro de cargas, Redes neurais, Visão computacional.

ABSTRACT

This work presents the development and validation of a computational application designed to automate the generation of load schedules for residential building electrical installation projects based on the analysis of architectural floor plan images. The system integrates computer vision techniques, convolutional neural networks, and image processing algorithms, combined with the technical requirements established by NBR 5410. The proposed solution employs a first neural network to identify and to segment building rooms, associating each environment with its name using Optical Character Recognition - OCR, and a second neural network to detect electrical elements, such as lighting fixtures and power outlets. Based on the extracted information, an object-oriented algorithm performs load calculations, circuit distribution, and the generation of the final load schedule. A graphical interface developed in Python enables the user to import floor plans, configure technical parameters, and export the resulting schedule to an spreadsheet. To validate the application, usability tests were conducted using real and simulated floor plans, comparing the automated results with those obtained through traditional manual methods. The tests demonstrated a significant reduction in execution time, while maintaining the required accuracy and high reliability, as reported by the participants. The results show that the proposed tool effectively reduces human error, standardizes procedures, and increases efficiency in residential electrical project development. Furthermore, the approach presents potential for expansion to other engineering fields.

Keywords: Automation, Electrical installation design, Load schedule, Neural networks, Computer vision

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Planta Baixa de um Projeto Elétrico	20
Figura 2 – Diagrama de blocos da aplicação	29
Figura 3 – Interface gráfica da aplicação	51
Figura 4 – Guias dos resultados da aplicação	52
Figura 5 – Resultados do processamento da imagem	54
Figura 6 – Parte do formulário de teste	60
Figura 7 – Exemplo da segmentação dos cômodos	64
Figura 8 – Exemplo da identificação dos pontos elétricos	65
Figura 9 – Exemplo da exibição do quadro de cargas	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de quadro de cargas	18
Quadro 2 – Dispositivos de proteção considerando fator de agrupamento . . .	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de um “mapa” de cargas por ambiente	43
Tabela 2 – Exemplo simplificado dos circuitos dimensionados	47
Tabela 3 – Campos do Quadro de Cargas	49
Tabela 4 – Questões utilizadas no Teste	57
Tabela 5 – Etapas do procedimento de elaboração do quadro de cargas	58
Tabela 6 – Resultados do Teste de Utilização - Tempo	67
Tabela 7 – Diferença total de potência entre o método manual e a aplicação . .	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	<i>Application Programming Interface</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
IA	Inteligência Artificial
NBR	Norma Brasileira
OCR	<i>Optical Character Recognition</i>
PIL	<i>Python Imaging Library</i>
U-Net	Arquitetura de rede neural convolucional para segmentação semântica de imagens
YOLO	<i>You Only Look Once</i>
R-CNN	<i>Region-Based Convolutional Neural Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Projeto de Instalações Elétricas	17
2.1.1	Quadro de Cargas	17
2.1.2	Plantas Baixas de Projetos de Instalações Elétricas	18
2.1.3	Automação de Projetos de Instalações Elétricas	19
2.2	Visão Computacional	20
2.2.1	Reconhecimento de Elementos em Imagens de Plantas Baixas	21
2.2.2	Segmentação de Imagens	21
2.2.3	Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR)	22
2.3	Redes Neurais Artificiais	22
2.3.1	Treinamento de Redes Neurais	23
2.3.2	Arquiteturas Utilizadas em Detecção e Segmentação de Imagens	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	Planejamento do Projeto	25
3.1.1	Etapas Previstas	25
3.1.2	Estudo Prévio e Revisão Bibliográfica das Tecnologias	26
3.1.3	Ferramentas e Tecnologias Utilizadas	27
3.1.4	Diagrama de Blocos	28
3.2	Reconhecimento dos Cômodos com Rede Pré-Treinada	29
3.2.1	Escolha da Rede Neural	30
3.2.2	Entrada da Rede: Adaptação das Imagens	31
3.2.3	Integração da Rede com a Aplicação	31
3.2.4	Resultados da Segmentação	32
3.2.5	Pós Processamento e Utilização dos Dados Segmentados	33
3.2.6	Identificação dos Nomes dos Cômodos via OCR	34
3.3	Identificação dos Pontos Elétricos com Rede Neural Própria	36
3.3.1	Criação do Conjunto de Dados	36
3.3.2	Configuração e Treinamento do Modelo	37

3.3.3	Integração da Rede Neural com a Aplicação	38
3.3.4	Processamento e Organização dos Resultados	39
3.4	Geração do Quadro de Cargas	40
3.4.1	Estruturação dos Dados de Entrada	41
3.4.2	Cálculo das Potências Individuais dos Ambientes	42
3.4.3	Divisão dos Circuitos	43
3.4.4	Dimensionamento dos Condutores e Disjuntores	44
3.4.5	Dimensionamento da Alimentação Geral	47
3.4.6	Exportação do Quadro de Cargas	48
3.5	Interface da Aplicação	50
3.5.1	Estrutura Geral da Interface	50
3.5.2	Entrada do Arquivo da Planta Baixa	52
3.5.3	Definição das potências unitárias	53
3.5.4	Resultados Gerados	53
4	TESTES DE USABILIDADE E VALIDAÇÃO	55
4.1	Definição do Plano de Testes	55
4.1.1	Objetivos	55
4.1.2	Definição e Recrutamento dos Participantes	55
4.1.3	Definição do Local dos Testes	56
4.2	Questões	56
4.3	Roteiro dos testes	58
4.4	Materiais utilizados nos Testes	59
4.4.1	Cenários de Testes	59
4.4.2	Questionário pós Testes	59
4.4.3	Coleta dos Dados	60
4.4.4	Análise dos Dados	61
4.4.5	Apresentação dos Dados	61
5	RESULTADOS	62
5.1	Resultados do Desenvolvimento da Aplicação	62
5.1.1	Funcionamento da aplicação	63
5.2	Resultados dos Testes de Utilização	66
5.2.1	Tempo de Execução	67
5.2.2	Precisão dos Resultados	67
5.2.3	Avaliação dos Usuários	68
5.3	Resultados Obtidos com o Desenvolvimento da Aplicação	69
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
6.1	Diretivas para trabalhos futuros	71

REFERÊNCIAS 73

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Os projetos de instalações elétricas desempenham um papel importante em qualquer construção, garantindo a segurança, a eficiência e a funcionalidade das edificações. Eles são responsáveis por definir como e onde os pontos de utilização, como luzes, tomadas e dispositivos de comando, serão dispostos, além de determinar o trajeto dos condutores e os dispositivos de proteção. Segundo Carvalho Júnior (2023), um projeto elétrico bem elaborado, dimensionado corretamente e integrado ao projeto arquitetônico, pode gerar economia na execução e manutenção da instalação, evitando problemas como o superdimensionamento de circuitos e falhas de segurança.

O quadro de cargas assume um papel central no projeto de instalações elétricas, pois sua correta elaboração evita sobrecargas que possam comprometer, tanto a segurança, quanto o desempenho da instalação. A divisão dos circuitos e o dimensionamento adequado são necessários para que os equipamentos elétricos funcionem de forma eficiente, com menos desperdício de energia ou risco de falhas no sistema.

A elaboração manual do quadro de cargas pode ser demorada e suscetível a erros, especialmente em projetos mais complexos, o que aumenta a necessidade de ferramentas tecnológicas que agilizem e assegurem a confiabilidade em seu dimensionamento (GOMES, 2022). Por ser um processo que segue um padrão bem definido, com etapas repetitivas que se mantêm consistentes em diferentes projetos, a automação se torna uma solução viável. A implementação de sistemas baseados em inteligência artificial pode não apenas otimizar o desenvolvimento do quadro de cargas, mas também garantir maior precisão, permitindo que os projetistas se concentrem em aspectos mais criativos e inovadores de seus trabalhos, enquanto as tarefas rotineiras são executadas de forma automatizada e confiável.

Dentre as abordagens empregadas na automação de tarefas que envolvem análise de imagens, destacam-se os sistemas baseados em redes neurais artificiais e visão computacional. Redes neurais profundas são amplamente utilizadas para aprendizado a partir de dados e reconhecimento de padrões em imagens, permitindo que sistemas computacionais identifiquem características relevantes de forma automática (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016). No contexto da visão computacional, essas técnicas possibilitam a interpretação de imagens e documentos gráficos, sendo aplicadas na detecção e reconhecimento de elementos presentes em desenhos técnicos e plantas arquitetônicas (SZELISKI, 2010).

Diante deste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de redes neurais para a construção automatizada do quadro de cargas em projetos

de instalações elétricas, a partir de técnicas de visão computacional e processamento de imagens. O sistema terá como objetivo identificar e quantificar os pontos elétricos distribuídos em plantas baixas, e com base nesses dados, aplicar algoritmos para divisão e dimensionamento dos circuitos, automatizando a construção do quadro de cargas de forma eficiente e precisa.

1.2 Justificativa

Embora existam abordagens tecnológicas para automação de projetos elétricos, a aplicação de visão computacional, integrada a redes neurais em plantas baixas ainda é um campo pouco explorado (LIU et al., 2017). Tais técnicas permitem que o sistema reconheça padrões em imagens, associe dados a parâmetros normativos e automatize a construção do quadro de cargas de forma consistente com a norma NBR 5410.

Portanto, o desenvolvimento de um sistema que combine redes neurais e algoritmos de processamento de imagem para automatizar a geração do quadro de cargas apresenta uma contribuição significativa para o setor de engenharia elétrica. Além de reduzir o tempo e os erros associados à elaboração manual, esse sistema pode padronizar processos, melhorar a eficiência dos projetos e aumentar a precisão no dimensionamento das instalações elétricas, especialmente na correta identificação dos ambientes e na distribuição adequada dos circuitos, reduzindo riscos de subdimensionamento ou superdimensionamento.

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho busca contribuir ao explorar a aplicação integrada de técnicas de visão computacional, processamento de imagens e redes neurais artificiais no contexto de projetos de instalações elétricas prediais. Embora essas técnicas sejam amplamente estudadas em áreas como ciência da computação e automação, sua aplicação direcionada à interpretação de plantas baixas e à geração automatizada do quadro de cargas ainda é pouco explorada na literatura acadêmica nacional. Dessa forma, o trabalho propõe uma abordagem interdisciplinar, unindo conceitos teóricos da engenharia elétrica com métodos computacionais modernos, servindo como base para estudos futuros que visem à automação de etapas do processo de projeto elétrico e ao desenvolvimento de ferramentas inteligentes voltadas à engenharia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Comprovar a viabilidade do projeto e desenvolvimento de uma aplicação baseada em redes neurais artificiais e algoritmos de visão computacional para automatizar a elaboração do quadro de cargas em projetos de instalações elétricas, garantindo precisão, eficiência e conformidade com a norma NBR 5410.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar uma rede neural para identificar e segmentar os cômodos de uma planta baixa, gerando máscaras de segmentação e associando os cômodos aos seus respectivos nomes utilizando OCR;
- Desenvolver uma segunda rede neural capaz de identificar e quantificar automaticamente os pontos de tomada e iluminação presentes em cada cômodo;
- Estruturar uma matriz contendo as informações de nome dos cômodos, quantidade de pontos de tomadas e iluminação;
- Criar um algoritmo orientado a objetos para calcular a potência de tomadas e iluminação de cada cômodo, baseado nas informações da matriz;
- Implementar o cálculo de divisão e dimensionamento dos circuitos elétricos do quadro de cargas conforme a NBR 5410;
- Testar e validar o sistema utilizando exemplos de plantas baixas reais e simuladas, comparando a precisão dos resultados gerados com o método manual;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento do sistema proposto. São abordados conceitos relacionados a projetos de instalações elétricas, a norma NBR 5410, redes neurais artificiais, visão computacional e algoritmos orientados ao objeto, além de ferramentas tecnológicas utilizadas para a implementação da solução.

2.1 Projeto de Instalações Elétricas

O projeto de instalações elétricas tem como principal objetivo garantir o fornecimento adequado, seguro e eficiente de energia elétrica a todos os pontos de consumo de uma edificação, como iluminação, tomadas e equipamentos eletrodomésticos (ABNT, 2004). Para isso, é necessário que o projeto seja elaborado de forma criteriosa, considerando as normas técnicas vigentes e as características específicas da construção.

De acordo com Creder (2020), um projeto elétrico bem elaborado é essencial para assegurar a segurança e a economia da instalação. A ausência de planejamento técnico ou sua execução inadequada pode ocasionar acidentes, desperdício de energia e altos custos com correções e reformas. Além disso, conforme destaca Lima Filho (2011), a elaboração de projetos elétricos requer atenção às prescrições das diversas normas técnicas aplicáveis, que são fundamentais para assegurar a transferência de energia da fonte até os pontos de utilização de forma eficaz e segura.

No Brasil, a principal norma técnica utilizada na elaboração de projetos elétricos de baixa tensão é a NBR 5410:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essa norma estabelece as condições mínimas exigidas para o projeto, execução e manutenção das instalações elétricas, abrangendo aspectos como a proteção contra choques elétricos, dimensionamento de condutores, dispositivos de proteção, aterramento, seccionamento e comandos, entre outros. Sua aplicação é obrigatória em construções residenciais, comerciais e industriais, sendo uma referência indispensável para engenheiros e projetistas que atuam na área. Dessa forma, o uso criterioso das normas técnicas não apenas assegura a funcionalidade da instalação elétrica, mas também contribui para a preservação do patrimônio e a segurança dos usuários.

2.1.1 Quadro de Cargas

O quadro de cargas é um dos principais componentes de um projeto de instalações elétricas, sendo responsável por organizar e distribuir corretamente os circuitos terminais da edificação. Nele são definidas as cargas atribuídas a cada circuito,

o tipo de alimentação, os dispositivos de proteção e os condutores correspondentes, de acordo com os critérios estabelecidos pelas normas técnicas, em especial a NBR 5410.

O circuito elétrico pode ser compreendido como o conjunto de condutores e equipamentos associados ao mesmo dispositivo de proteção. De acordo com Cavalin (1998), esses circuitos se dividem em dois tipos principais: os de distribuição e os terminais, sendo estes últimos responsáveis pela alimentação dos pontos de utilização, como tomadas e luminárias. O quadro de cargas, portanto, consolida a organização e a distribuição desses circuitos na edificação.

Segundo Gomes (2022), as tabelas presentes no quadro de cargas têm como finalidade, não apenas orientar o dimensionamento de componentes e a execução da instalação, mas também fornecer uma visão clara da divisão dos circuitos e seus parâmetros associados. Essas informações possibilitam, por exemplo, a definição correta da seção dos condutores, o cálculo da demanda total da edificação e a especificação adequada dos dispositivos de proteção geral, como o disjuntor principal e os dispositivos diferenciais residuais (DRs).

Além disso, o quadro de cargas permite identificar a distribuição das cargas por cômodo e por tipo de uso (iluminação, tomadas de uso geral e específico, ar condicionado, etc.), facilitando o balanceamento de fases em instalações trifásicas e otimizando o uso da energia elétrica. Ele também serve como base para cálculos mais avançados, como o fator de simultaneidade e a estimativa da demanda total da edificação. Esses elementos são fundamentais para o correto dimensionamento do quadro geral de distribuição e da entrada de energia da instalação.

O Quadro 1 ilustra um modelo de quadro de cargas de uma residência fictícia, apresentando a estrutura típica de distribuição dos circuitos e a organização das informações de projeto.

Quadro 1 – Exemplo de quadro de cargas

Circuito	Descrição	Tensão (V)	Pot. Total (W)	Fases	Pot - R (W)	Pot - S (W)	Pot - T (W)	Seção (mm ²)	Disj. (A)
1	Tomadas Cozinha	220	700	R	700	–	–	2,5 mm ²	16 A
2	Tomadas Sala e Áreas Comuns	220	600	S	–	600	–	2,5 mm ²	16 A
3	Tomadas Quartos/Dormitórios	220	1000	T	–	–	1000	2,5 mm ²	16 A
4	Chuveiro	220	6500	R	6500	–	–	6,0 mm ²	32 A
5	Iluminação Áreas Comuns	220	600	S	–	600	–	1,5 mm ²	10 A
6	Iluminação Áreas Privativas	220	800	T	–	–	800	1,5 mm ²	10 A
TOTAL		220/380	10200	R+S+T	7200	1200	1800	10 mm ²	40 A

2.1.2 Plantas Baixas de Projetos de Instalações Elétricas

A planta baixa de um projeto de instalações elétricas representa graficamente a disposição dos componentes elétricos de uma edificação, tais como: pontos de iluminação, tomadas, interruptores, quadros de distribuição, eletrodutos e demais elementos necessários para o funcionamento da instalação. Essa representação deve

ser clara, precisa e integrada ao projeto arquitetônico, de forma a garantir a viabilidade técnica e funcional da execução da obra.

A elaboração de uma planta elétrica deve ocorrer de forma integrada ao projeto arquitetônico, considerando as necessidades dos ambientes, a disposição do mobiliário e o aproveitamento da iluminação natural. Essa integração entre os diferentes projetos evita interferências e retrabalhos durante a execução da obra, além de proporcionar maior eficiência e funcionalidade à instalação elétrica.

Além de contribuir para a organização e execução do sistema elétrico, a planta baixa é uma ferramenta essencial para manutenções futuras, análises de desempenho e possíveis reformulações da instalação. Quando corretamente elaborada, permite a visualização precisa dos trajetos dos condutores, otimizando o uso de materiais e evitando conflitos com sistemas hidráulicos, estruturais ou de automação. Uma boa representação gráfica também facilita a identificação de sobreposições entre circuitos e a verificação do cumprimento das exigências normativas quanto a distâncias mínimas e posicionamento dos elementos.

De acordo com Júnior (2015), o projetista deve conhecer e aplicar adequadamente os símbolos mais utilizados em instalações elétricas, assegurando que o projeto seja corretamente interpretado. Embora haja uma diversidade de representações, é fundamental que todos os símbolos e abreviaturas estejam devidamente especificados em uma legenda completa presente em todas as pranchas. Isso garante uma leitura clara e padronizada da planta, indispensável para a execução correta do projeto na obra.

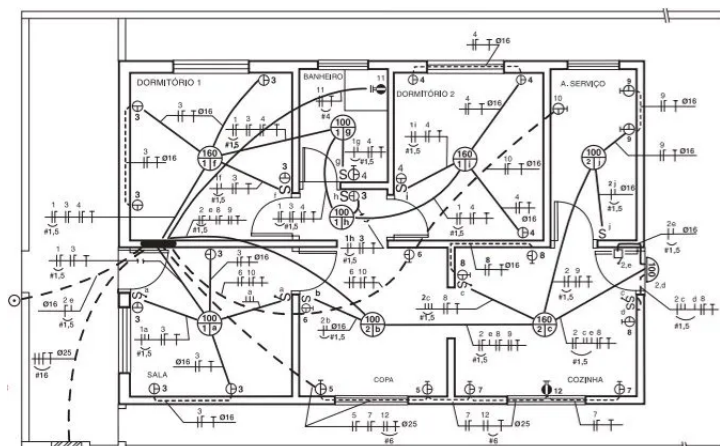
Outro aspecto importante apontado pelo autor é de que, a partir da quantidade de pontos de luz, tomadas e do tipo de fornecimento, o projetista pode calcular as potências e iniciar o dimensionamento dos circuitos da edificação. Essa prática favorece a coerência entre a representação gráfica e os dados técnicos do projeto, estabelecendo uma relação direta entre a planta elétrica e o quadro de cargas, o que facilita a checagem cruzada de informações e o entendimento completo da distribuição espacial dos elementos do sistema.

A Figura 1 mostra um exemplo de planta baixa de um projeto de instalações elétricas de uma residência fictícia, evidenciando a disposição dos pontos elétricos e o traçado dos eletrodutos de forma clara e padronizada.

2.1.3 Automação de Projetos de Instalações Elétricas

A automação no desenvolvimento de projetos de instalações elétricas tem se tornado uma estratégia fundamental para aumentar a produtividade, reduzir erros e padronizar processos técnicos. Com o auxílio de ferramentas computacionais integradas a softwares de desenho técnico, é possível automatizar diversas etapas do projeto, desde a inserção de blocos e esquemas elétricos, até o dimensionamento de condutores e a

Figura 1 – Exemplo de Planta Baixa de um Projeto Elétrico



Fonte: Autor

geração de quadros de cargas.

Segundo Gomes (2022), funcionalidades baseadas em orientações extraídas de normas técnicas e a eliminação de tarefas manuais repetitivas, contribuem diretamente para a redução de erros no projeto, promovendo maior segurança nas instalações. Além disso, a automação permite ao projetista dedicar mais tempo a tarefas analíticas e criativas, ao passo que etapas padronizadas do projeto são agilizadas por meio de rotinas automatizadas. Essa maior eficiência no desenvolvimento impacta positivamente o trabalho do profissional responsável pelo projeto.

O uso de automação, portanto, não apenas acelera o processo de elaboração dos projetos, como também melhora sua qualidade e confiabilidade técnica, sendo especialmente relevante em empreendimentos que exigem alto grau de precisão e conformidade normativa.

2.2 Visão Computacional

Visão computacional é uma área da inteligência artificial que busca permitir que computadores extraiam e interpretem informações relevantes a partir de imagens e vídeos. De acordo com Szeliski (2010), seu objetivo é extrair informações estruturadas a partir de dados visuais, convertendo imagens em representações passíveis de processamento computacional.

Segundo De Milano e Honorato (2014), essa tecnologia permite ao computador extrair características e descritores relevantes a partir de dados visuais, permitindo que ele execute tarefas inteligentes e simule a percepção humana. Isso viabiliza, por exemplo, a detecção de padrões, identificação de objetos e análise de movimentos em imagens ou vídeos.

Marengoni e Stringhini (2009) destacam que, embora haja uma sobreposição

conceitual com o processamento de imagens, a visão computacional difere por buscar uma interpretação mais ampla do conteúdo visual. Enquanto o processamento de imagens transforma as mesmas em valores numéricos ou outras representações, a visão computacional tem como objetivo compreender esses dados, emulando a capacidade humana de interpretar cenas e contextos.

No contexto deste trabalho, a visão computacional é empregada na análise de plantas baixas de projetos arquitetônicos e elétricos, permitindo a identificação automatizada de elementos gráficos como: paredes, divisões de ambientes, símbolos técnicos e conexões entre componentes. Essa abordagem automatiza tarefas tradicionalmente manuais no desenvolvimento de projetos elétricos, como a leitura de simbologia e a delimitação dos cômodos, contribuindo para a geração automatizada de documentos técnicos, como o quadro de cargas.

2.2.1 Reconhecimento de Elementos em Imagens de Plantas Baixas

O reconhecimento automático de elementos gráficos em plantas baixas é uma etapa essencial para a interpretação digital de projetos de engenharia e arquitetura. Essa tarefa envolve a detecção e classificação de componentes como paredes, portas, janelas, símbolos técnicos e ambientes, a partir da análise computacional da imagem da planta.

A identificação de paredes, por exemplo, é considerada uma das tarefas mais comuns e fundamentais nesse processo, pois define o layout principal da edificação e serve de referência para a localização de outros elementos estruturais e funcionais, como portas, vigas e cômodos (PIZARRO et al., 2022).

Segundo Zeng et al. (2019), o reconhecimento de elementos em plantas baixas requer a aprendizagem de informações semânticas complexas, uma vez que esses desenhos, não apenas apresentam objetos individuais como paredes e janelas, mas também expressam relações estruturais entre eles. Assim, a interpretação automatizada das plantas, demanda algoritmos capazes de entender, tanto os componentes, quanto sua disposição e função no conjunto do projeto.

Com o auxílio de técnicas de visão computacional e redes neurais convolucionais, tornou-se possível automatizar essas tarefas com níveis cada vez maiores de precisão. Essa automação, possibilita a extração de dados estruturados a partir de imagens, o que viabiliza aplicações como, por exemplo, a geração automatizada de quadros de cargas.

2.2.2 Segmentação de Imagens

A segmentação de imagens é uma etapa essencial em sistemas de visão computacional, responsável por dividir uma imagem digital em partes ou objetos constituintes, facilitando a análise e a interpretação automatizada de seus elementos. Segundo

Neves et al. (2001), essa tarefa consiste em subdividir a imagem de forma que seus componentes relevantes possam ser isolados e analisados individualmente, sendo considerada uma das fases mais críticas do processamento de imagens, pois determina o sucesso ou o fracasso das etapas posteriores.

De forma semelhante, Santos (2007) destaca que a segmentação representa o núcleo do processo de separação visual entre objetos e seu contexto. Essa separação é indispensável para que se possa reconhecer onde termina um objeto e onde começa outro, simulando um comportamento similar ao da inspeção visual humana, baseada em experiências prévias.

Em imagens de plantas baixas de projetos elétricos, a segmentação pode ser aplicada na distinção visual entre diferentes cômodos e símbolos gráficos. Essa segmentação espacial permite que a rede neural interprete corretamente a organização dos componentes, servindo como base estruturada para a extração de dados relevantes e para a posterior geração automatizada do quadro de cargas.

2.2.3 Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR)

O Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR, do inglês *Optical Character Recognition*) é uma tecnologia que permite a extração de textos presentes em imagens. O OCR possibilita a conversão de conteúdos textuais contidos em documentos digitalizados, fotografias ou imagens em arquivos de texto pesquisáveis e editáveis, o que inclui, desde textos impressos e datilografados, até placas de rua e notas fiscais (CAIXETA; MOCOCA; PRADO, 2020).

Essa tecnologia é amplamente utilizada em aplicações práticas graças ao desenvolvimento de bibliotecas, como o Tesseract, uma ferramenta de código aberto reconhecida por sua alta precisão no reconhecimento de caracteres. Conforme Farias et al. (2023), o uso do pytesseract, uma interface em Python para o Tesseract, tornou mais acessível a implementação de OCR em aplicações computacionais, permitindo a extração eficiente de texto de imagens de documentos estruturados e não estruturados.¹

2.3 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano, compostos por estruturas de neurônios interconectados organizados em camadas. Conforme descrito por Haykin et al. (2009), essas redes simulam um conjunto de unidades de processamento que transformam informa-

¹ Documentos estruturados apresentam organização explícita de dados em campos e formatos predefinidos, enquanto documentos não estruturados contêm informações em formato livre, exigindo técnicas de interpretação automática para extração de dados

ções em etapas sucessivas, possibilitando a aprendizagem de padrões complexos a partir de exemplos.

De acordo com Rauber (2005), uma RNA possui duas facetas principais: a arquitetura da rede e o algoritmo de aprendizagem. A rede é treinada a partir de dados de entrada, e não programada de forma explícita, sendo que o conhecimento é armazenado nos pesos ajustáveis das conexões entre os neurônios. Essa abordagem permite que o sistema generalize informações a partir dos dados de treinamento, adaptando-se a diferentes tipos de problemas.

Entre os diversos modelos existentes, as Redes Neurais Convolucionais (*Convolutional Neural Network* - CNNs) se destacam especialmente em tarefas de processamento de imagens. Segundo Silva (2018), as CNNs são utilizadas para a classificação de imagens e o reconhecimento de objetos e padrões visuais, sendo compostas por camadas convolucionais que extraem características locais e hierárquicas dos dados de entrada.

Essa capacidade de aprendizado automático e eficiente torna as CNNs uma das ferramentas mais poderosas para o reconhecimento de elementos gráficos em plantas baixas, contribuindo diretamente para aplicações como a identificação de símbolos elétricos e a segmentação de ambientes. No contexto deste trabalho, as redes convolucionais são fundamentais para o processamento visual das plantas e a extração automatizada de informações relevantes para a construção do quadro de cargas.

2.3.1 Treinamento de Redes Neurais

O treinamento de redes neurais artificiais consiste no processo de ajuste dos pesos das conexões entre os neurônios, com o objetivo de minimizar o erro entre a saída prevista pela rede e o resultado esperado. Segundo Cunha (2020), esse processo é essencial para que a rede aprenda a reconhecer padrões a partir dos dados de entrada, utilizando um fator multiplicativo, o peso. Este é continuamente ajustado até que o desempenho da rede atinja níveis satisfatórios. Esse treinamento é, em geral, supervisionado, ou seja, exige que se conheça previamente a categoria ou o rótulo dos dados fornecidos.

Santos (2007) destaca que o aprendizado supervisionado depende da existência de um conjunto de exemplos rotulados, fornecidos por um observador humano, de modo que a rede possa aprender a mapear entradas para saídas conhecidas. A capacidade da rede de generalizar, ou seja, de apresentar bom desempenho com dados novos, está diretamente relacionada à qualidade do processo de treinamento.

De acordo com Goodfellow, Bengio e Courville (2016), a qualidade e a quantidade dos dados utilizados nessa etapa impactam diretamente na precisão e no desempenho final do modelo. No caso de redes convolucionais aplicadas à visão

computacional, é comum utilizar técnicas como aumento de dados (*data augmentation*), normalização e taxas de aprendizado adaptativas para lidar com a complexidade visual das imagens, tornando o treinamento mais robusto e eficiente frente às variações de iluminação, escala e orientação.

2.3.2 Arquiteturas Utilizadas em Detecção e Segmentação de Imagens

Diversas arquiteturas de redes neurais convolucionais têm sido desenvolvidas e aprimoradas para lidar com tarefas de detecção e segmentação de objetos em imagens. Entre as mais relevantes, estão a Faster R-CNN, que utiliza uma abordagem em dois estágios para gerar propostas de regiões e, posteriormente, classificar e refinar essas propostas; a U-Net, amplamente empregada em segmentação semântica, especialmente em aplicações médicas; e a YOLO (*You Only Look Once*), que se destaca por sua abordagem de estágio único.

A arquitetura YOLO é reconhecida por sua capacidade de realizar detecção de objetos de forma rápida e eficiente, características essenciais quando se deseja processar um grande volume de imagens com múltiplos elementos visuais. Segundo Muhammad (2023), a YOLO revolucionou a detecção de objetos ao transformar o problema em uma tarefa de regressão, permitindo a geração simultânea das coordenadas das caixas delimitadoras e das classes correspondentes. Essa estrutura possibilita à rede aprender representações visuais complexas, como bordas, texturas e formas, mantendo robustez, mesmo em cenários com múltiplos objetos e distrações visuais.

Além disso, conforme Farhadi (2016), a principal vantagem da YOLO em relação a outras abordagens é sua capacidade de realizar detecção em tempo real, com excelente desempenho, tanto em velocidade quanto em acurácia. Isso a torna especialmente adequada para aplicações que exigem processamento de baixa latência, como sistemas de segurança, veículos autônomos e monitoramento em larga escala.

3 METODOLOGIA

3.1 Planejamento do Projeto

Antes do desenvolvimento da aplicação proposta neste trabalho, foi realizado um planejamento detalhado com o intuito de guiar as atividades de maneira estruturada e eficiente. Essa etapa foi essencial para garantir clareza quanto aos objetivos do sistema, às tecnologias envolvidas e aos métodos que seriam empregados na construção da solução.

O planejamento teve como ponto de partida, a definição do objetivo principal do sistema e a identificação das etapas necessárias para a sua realização, estabelecendo uma sequência lógica de ações. Com base nisso, foi elaborado um diagrama de blocos, representando a arquitetura geral da solução, permitindo visualizar as interações entre os componentes principais, como o processamento de imagens, as redes neurais utilizadas e os algoritmos de geração do quadro de cargas.

Além disso, foi desenvolvido um estudo bibliográfico aprofundado com foco em técnicas de visão computacional, redes neurais convolucionais, ferramentas de OCR e automação de projetos de instalações elétricas. Esse levantamento contribuiu para a escolha das tecnologias mais adequadas ao contexto do trabalho, levando em consideração critérios como: desempenho, compatibilidade, facilidade de integração e suporte da comunidade.

O planejamento também contemplou a definição dos critérios de avaliação do sistema e dos métodos de teste, visando assegurar que os resultados obtidos pudessem ser analisados de forma objetiva ao final do desenvolvimento. A partir desse planejamento prévio, foram definidos os tópicos que são detalhados nas seções seguintes, começando pela definição do objetivo principal do sistema.

3.1.1 Etapas Previstas

Antes de iniciar o desenvolvimento prático da aplicação, foram definidas as etapas que organizaram o progresso do projeto, estabelecendo uma linha condutora para o alcance do objetivo final. A estruturação por etapas, permitiu maior controle sobre as atividades a serem realizadas, facilitando o acompanhamento dos avanços e o planejamento de ajustes conforme a necessidade.

As etapas previstas para o desenvolvimento deste trabalho foram:

1. Estudo e revisão bibliográfica: levantamento de conceitos fundamentais relacionados à norma NBR 5410, CNNs, visão computacional e técnicas de processamento de imagens aplicadas à interpretação de plantas arquitetônicas e projetos elétricos.

2. Definição dos requisitos do sistema: detalhamento funcional e técnico das tarefas que o sistema deverá executar, incluindo o escopo de reconhecimento dos cômodos, identificação dos blocos elétricos, cálculo da carga instalada e formatação do quadro de cargas.
3. Elaboração do diagrama de blocos do sistema: representação visual das etapas do processamento, desde a entrada da imagem da planta baixa até a geração do quadro de cargas final. Essa representação serviu como guia para a implementação modular da aplicação.
4. Coleta e preparação dos dados: construção de um conjunto de dados com imagens de plantas baixas rotuladas, contendo as delimitações dos símbolos elétricos, que serão utilizados para treinar os modelos de segmentação e detecção.
5. Desenvolvimento e treinamento dos modelos de rede neural: implementação das redes neurais responsáveis pelo reconhecimento dos ambientes e dos elementos do projeto elétrico, com ajuste dos hiperparâmetros para obtenção de resultados satisfatórios.
6. Integração dos modelos com critérios pré estabelecidos: associação dos resultados da rede com as regras da NBR 5410, automatizando o cálculo da potência de cada cômodo e a divisão dos circuitos.
7. Geração automatizada do quadro de cargas: formatação e exportação do resultado em uma planilha organizada com as potências por circuito, número de pontos e carga total do projeto.
8. Validação e testes da aplicação: verificação da funcionalidade do sistema por meio de testes com diferentes plantas baixas e análise da conformidade dos quadros gerados com os critérios normativos, além da comparação dos resultados da aplicação com o método manual.

Essa divisão em etapas, permitiu abordar o desenvolvimento de forma sistemática, além de facilitar o planejamento e a alocação de tempo ao longo do desenvolvimento. Vale destacar que a metodologia empregada foi iterativa, permitindo ajustes e melhorias contínuas à medida que novas demandas ou dificuldades surgiam durante o processo de implementação.

3.1.2 Estudo Prévio e Revisão Bibliográfica das Tecnologias

Antes da definição das ferramentas e tecnologias a serem empregadas na construção da aplicação, foi desenvolvido um estudo preliminar com o objetivo de identificar as soluções mais adequadas às necessidades específicas do projeto. Essa etapa consistiu em uma revisão bibliográfica sobre aplicações semelhantes, *frameworks* de visão computacional, plataformas de treinamento de redes neurais e bibliotecas de manipulação de imagens e dados em Python.

A revisão teve como foco, compreender quais tecnologias vinham sendo uti-

lizadas em projetos relacionados à identificação de elementos gráficos em imagens, especialmente no contexto da construção civil e da automação de tarefas repetitivas. Foram analisados artigos, trabalhos acadêmicos, repositórios públicos e documentação oficial de bibliotecas amplamente adotadas pela comunidade científica e de desenvolvedores.

Durante essa análise, foi observada a popularização do uso de plataformas como o Roboflow, que permite, não apenas o treinamento de redes neurais convolucionais com dados personalizados, como também oferece APIs - Interfaces de Programação de Aplicações acessíveis que facilitam sua integração em aplicações Python. Também, foram avaliadas alternativas de *frameworks* para desenvolvimento de interfaces gráficas e bibliotecas especializadas em leitura de texto em imagens (OCR), além de ferramentas para manipulação de arquivos e formatação de planilhas.

A escolha dos componentes da aplicação foi, portanto, guiada por critérios como:

- Compatibilidade com os objetivos do projeto;
- Simplicidade de implementação;
- Suporte comunitário e documentação;
- Possibilidade de integração entre os diferentes módulos do sistema;

Essa etapa foi fundamental para garantir a viabilidade técnica do projeto e possibilitar o desenvolvimento de uma aplicação robusta e funcional, evitando retrabalho e otimizando o tempo de implementação.

3.1.3 Ferramentas e Tecnologias Utilizadas

A partir do estudo prévio e da revisão bibliográfica realizada, foram selecionadas as seguintes ferramentas e tecnologias que melhor se adequaram aos requisitos do projeto:

- Roboflow: plataforma online responsável pelo treinamento e hospedagem das CNNs utilizadas no projeto. Por meio dela, foi possível utilizar uma rede pré-treinada para identificação de cômodos em plantas baixas e treinar uma rede personalizada para a detecção dos blocos elétricos presentes nos projetos;
- Google Colab: ferramenta utilizada nas etapas iniciais do projeto para testes e experimentações com as redes neurais. Sua infraestrutura baseada em nuvem permitiu a execução de notebooks com suporte a GPU, acelerando o processo de validação das inferências;
- Bibliotecas Python: diversas bibliotecas foram utilizadas na implementação da aplicação final. Entre elas:
 - *pil*: para carregamento, redimensionamento, manipulação e sobreposição de imagens;
 - *pytesseract*: biblioteca de OCR utilizada para extrair o texto presente nas ima-

gens, permitindo identificar nomes de cômodos, legendas e outros elementos relevantes da planta;

- *shapely*: usada para cálculos geométricos, como verificar se um determinado ponto (como um bloco elétrico) está contido dentro da área delimitada de um cômodo;
- *inference_sdk*: biblioteca oficial da API do Roboflow, utilizada para fazer inferências com os modelos treinados diretamente a partir da aplicação;
- *pandas*: utilizada para manipulação e estruturação de dados tabulares, especialmente na organização dos dados de saída que compõem o quadro de cargas;
- *openpyxl*: usada para a criação e formatação de planilhas Excel, com a geração automatizada do quadro de cargas final;
- *tkinter*: biblioteca padrão do Python para desenvolvimento de interfaces gráficas (GUI), utilizada para criar a interface da aplicação, possibilitando que o usuário carregue imagens, visualize os resultados das inferências e exporte os dados;

A combinação dessas ferramentas permitiu o desenvolvimento de uma aplicação robusta, com interface gráfica amigável, capaz de realizar todo o processamento necessário para extrair informações relevantes de plantas baixas e gerar, de forma automatizada, o quadro de cargas de um projeto elétrico.

3.1.4 Diagrama de Blocos

Com base em todas as etapas descritas anteriormente neste planejamento, foi possível elaborar o diagrama de blocos que representa, de forma simplificada, o fluxo de funcionamento do sistema desenvolvido. Esse diagrama ilustra os principais módulos da aplicação e a sequência lógica de processamento dos dados, desde a entrada do usuário até a entrega final do quadro de cargas.

O funcionamento do sistema inicia com a entrada de dados pelo usuário, que insere a imagem da planta baixa do projeto elétrico e define os valores das potências unitárias a serem utilizadas para cada tipo de ponto elétrico (como tomadas e iluminação).

Na sequência, a imagem é processada pela Rede Neural 01 - RN01, responsável por identificar os cômodos presentes na planta baixa e segmentar graficamente suas regiões. Após a segmentação, é utilizado um mecanismo de OCR para identificar e associar o nome de cada cômodo às regiões segmentadas pela rede.

Em seguida, a imagem é processada pela Rede Neural 02, que realiza a detecção e contagem dos pontos elétricos presentes em cada cômodo segmentado pela rede neural anterior, como tomadas e luminárias.

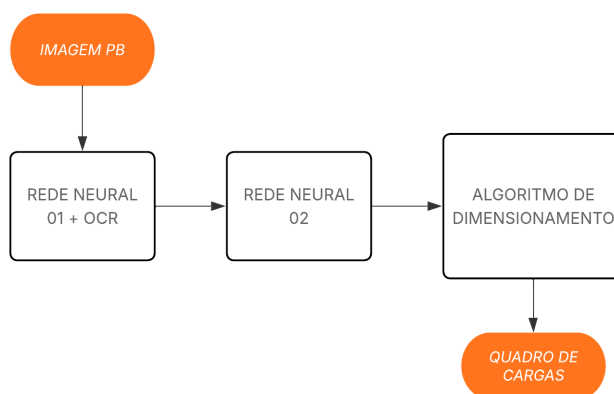
Com os nomes dos cômodos identificados e a quantidade de pontos elétricos de

cada tipo, o sistema envia essas informações para o algoritmo de dimensionamento, que realiza o cálculo da potência de cada cômodo, divide os circuitos de forma equilibrada e, com base nos critérios técnicos estabelecidos pela norma, dimensiona os cabos e disjuntores correspondentes.

Por fim, todos os dados processados são organizados e apresentados ao usuário por meio da interface gráfica, montando automaticamente o quadro de cargas completo e pronto para ser utilizado no projeto elétrico.

A Figura 2, a seguir, apresenta esse fluxo em forma de diagrama de blocos, mostrando a sequência de atuação das etapas da aplicação.

Figura 2 – Diagrama de blocos da aplicação



Fonte: Autor

3.2 Reconhecimento dos Cômodos com Rede Pré-Treinada

Para a identificação e segmentação dos cômodos presentes nas plantas baixas utilizadas na aplicação, foi empregada uma rede neural convolucional pré-treinada, disponibilizada na plataforma Roboflow. Essa rede tem como finalidade reconhecer automaticamente as diferentes áreas funcionais de uma edificação, como quartos, salas, cozinhas, banheiros, entre outros, a partir da imagem da planta baixa em formato digital.

A escolha por uma rede pré-treinada se deu pela possibilidade de incorporar uma solução já funcional e treinada com um grande volume de dados, economizando tempo de desenvolvimento e recursos computacionais. Ao invés de iniciar um processo de treinamento do zero, a estratégia adotada foi buscar uma rede cujos dados de treinamento fossem compatíveis com o tipo de planta que o sistema manipula, garantindo resultados satisfatórios sem a necessidade de ajustes extensivos.

A atuação desta rede dentro da aplicação ocorre logo após a inserção da imagem da planta baixa pelo usuário. A rede é responsável por realizar a detecção dos

cômodos, retornando suas localizações por meio de caixas delimitadoras (*bounding boxes*) e, em alguns casos, com rótulos associados. O objetivo principal dessa etapa é extrair com precisão as regiões espaciais de cada cômodo, viabilizando o processamento posterior como a contagem de pontos elétricos por ambiente, que será útil na divisão dos circuitos e, posteriormente, na geração do quadro de cargas.

3.2.1 Escolha da Rede Neural

A seleção da rede neural, responsável pela identificação e segmentação dos cômodos da planta baixa, foi um dos primeiros passos definidos no processo de desenvolvimento da aplicação. Optou-se por utilizar uma rede pré-treinada disponível na plataforma Roboflow, o que permitiu economizar tempo e recursos com a coleta, anotação e treinamento de um novo conjunto de dados. Esta abordagem foi possível devido à existência de modelos já consolidados e com desempenho satisfatório em tarefas de segmentação de plantas arquitetônicas.

O modelo escolhido é do tipo Roboflow 3.0 *Instance Segmentation (Accurate)*, que se mostrou adequado à proposta do projeto por ser especializado em segmentar instâncias em imagens, no caso, os diferentes ambientes (cômodos) da planta. A rede foi treinada com um conjunto de 2.547 imagens, distribuídas entre 1.454 imagens para treino, 548 para validação e 545 para teste. De acordo com a documentação e boas práticas descritas pelo Roboflow (2023), bases de dados com essa ordem de grandeza e divisão entre treino, validação e teste são consideradas apropriadas para tarefas de segmentação supervisionada, contribuindo para maior estabilidade e capacidade de generalização do modelo.

Durante o processo de pré-processamento, as imagens foram ajustadas com as configurações *Auto-Orient: Applied* e *Resize: Stretch to 640x640*, permitindo à rede lidar com imagens em diferentes orientações e escalas. A segmentação foi realizada em uma única classe, identificada como “*floor*”. O desempenho da rede foi avaliado por meio da métrica mAP (*mean Average Precision*), que corresponde à média das precisões obtidas para diferentes limiares de confiança e sobreposição entre a predição e a anotação real. O modelo obteve um mAP de 81,6%, o que demonstra desempenho consistente na identificação da classe analisada dentro do conjunto de dados utilizado neste estudo.

Essa escolha se mostrou adequada no contexto do projeto, pois os resultados obtidos indicaram elevada correspondência entre as segmentações preditas pela rede e as anotações de referência do conjunto de dados, considerando o critério de interseção sobre união (*Intersection over Union – IoU*) utilizado na avaliação. Esse resultado demonstra consistência na delimitação dos cômodos mesmo em plantas com variações de estilo arquitetônico ou qualidade gráfica.

3.2.2 Entrada da Rede: Adaptação das Imagens

Antes de serem enviadas à RN01, as imagens das plantas baixas precisam passar por um processamento inicial de preparação, garantindo que estejam em condições ideais para o reconhecimento dos cômodos. Essa etapa é crucial para minimizar distorções, melhorar a qualidade dos dados e assegurar maior precisão nas detecções realizadas pela rede.

O processo de preparação inicia-se com a leitura da imagem original utilizando a biblioteca Pillow (PIL), que permite o carregamento e manipulação eficiente de imagens em Python. Imediatamente após a leitura, a função “ImageOps.exif_transpose” é aplicada para corrigir eventuais problemas de orientação que possam existir em função dos metadados de rotação embutidos na imagem. Essa etapa garante que a planta esteja corretamente posicionada, independente da orientação original do arquivo.

Além da correção de orientação, as imagens são convertidas para o modo RGB, assegurando um padrão de cores adequado para o funcionamento do modelo de rede utilizado. Posteriormente, a imagem completa é enviada diretamente para o serviço de inferência da rede neural hospedada na plataforma Roboflow, sem necessidade de redimensionamento prévio local, uma vez que a própria API da plataforma realiza automaticamente o ajuste da resolução para o tamanho esperado pelo modelo durante o treinamento (640×640 pixels). Dessa forma, mesmo quando imagens de maior resolução são fornecidas como entrada, elas são redimensionadas para esse formato, garantindo compatibilidade com o modelo treinado.

De acordo com Gonzalez e Woods (2010), o pré-processamento de imagens é uma etapa importante em sistemas de visão computacional, envolvendo operações destinadas a preparar os dados visuais para as etapas subsequentes de processamento. No contexto de modelos de aprendizado de máquina, essa etapa também tem como objetivo padronizar as características das imagens de entrada, reduzindo discrepâncias entre os dados utilizados no treinamento e aqueles apresentados durante a fase de inferência, o que contribui para um desempenho mais consistente dos algoritmos de reconhecimento.

Portanto, mesmo com o uso de uma rede já treinada, o cuidado com o preparo inicial da imagem tem papel relevante para o desempenho geral do sistema, minimizando erros na segmentação e garantindo resultados mais confiáveis na identificação dos cômodos da planta baixa.

3.2.3 Integração da Rede com a Aplicação

Com a rede neural pré-treinada devidamente escolhida e o processamento de entrada das imagens estabelecido, foi necessário integrar a rede ao sistema desenvolvido, de forma que a aplicação pudesse, de maneira automatizada, enviar as imagens

para inferência e receber os resultados de segmentação dos cômodos.

Essa integração foi realizada por meio da utilização da API disponibilizada pela plataforma Roboflow, através do pacote “inference_sdk”, que oferece um cliente HTTP simplificado para comunicação com o serviço. O código implementado realiza o envio da imagem da planta baixa, após o pré-processamento inicial, diretamente ao *endpoint* da rede hospedada, utilizando as credenciais de API disponibilizadas pela conta do desenvolvedor na plataforma.

A resposta recebida da API contém, para cada cômodo identificado, as coordenadas dos pontos que compõem o polígono de segmentação, bem como a confiança associada à detecção. Essas informações foram organizadas no sistema de forma que cada polígono gerado pela rede neural fosse posteriormente associado ao respectivo nome do cômodo, identificado na etapa subsequente com uso da técnica de OCR.

Esse modelo de integração apresenta diversas vantagens, especialmente para aplicações que não dispõem de recursos computacionais avançados localmente. A computação em nuvem permite o acesso sob demanda a recursos computacionais compartilhados, possibilitando que aplicações utilizem infraestrutura e serviços remotos sem a necessidade de grandes investimentos em hardware local (MELL; GRANCE, 2011). Dessa forma, mesmo sistemas desenvolvidos em ambientes acadêmicos ou projetos com recursos limitados podem se beneficiar de modelos robustos de inteligência artificial, mantendo a viabilidade operacional e a escalabilidade da aplicação.

Além disso, a separação clara entre o processamento de inferência e o restante da lógica da aplicação, proporcionou maior modularidade e escalabilidade ao projeto, permitindo eventuais futuras substituições ou melhorias no modelo de rede neural sem que a estrutura principal do sistema precise ser reescrita.

3.2.4 Resultados da Segmentação

A integração do sistema com a rede pré-treinada, hospedada na plataforma Roboflow, permitiu obter a segmentação automatizada dos cômodos presentes na planta baixa fornecida como entrada. Após o envio da imagem já pré-processada, a rede realiza a inferência e retorna um conjunto de predições, cada uma representando um cômodo detectado. Cada predição contém múltiplas informações úteis para o sistema:

- Coordenadas da caixa delimitadora (*bounding box*): posição central do cômodo (x e y), largura e altura;
- Confiança da detecção: valor entre 0 e 1 indicando o grau de certeza da rede quanto à detecção realizada;
- Classe identificada: neste caso, sempre “floor”, pois o modelo foi treinado com uma única classe para segmentação dos cômodos;
- Polígono de contorno: uma lista de pontos (pares de coordenadas x e y) que

descrevem, com precisão, o contorno exato do cômodo detectado;

Como exemplo, uma das predições retornadas pela rede apresenta a seguinte estrutura:

```
{
  "x": 144,
  "y": 497,
  "width": 266,
  "height": 154,
  "confidence": 0.981,
  "class": "floor",
  "points": [
    {"x": 11, "y": 420}, {"x": 11, "y": 574}, {"x": 275, "y": 574}, ...
  ],
  "class_id": 0
}
```

Através do conjunto de pontos que define o polígono, o sistema consegue mapear geometricamente a área de cada cômodo identificado na planta. Essa informação é crucial para as etapas posteriores do processamento, como a associação do nome do cômodo via OCR e a contagem de pontos elétricos dentro de cada área segmentada.

A qualidade das detecções foi bastante satisfatória para a finalidade proposta, com valores de confiança geralmente superiores a 97% nas amostras processadas, refletindo a eficiência do treinamento realizado previamente no Roboflow, o qual obteve um MAP de 81,6%. Vale destacar que o modelo utilizado baseia-se em *Instance Segmentation*, técnica de visão computacional que, além de identificar os objetos presentes na imagem, também determina com precisão os contornos de cada instância por meio de máscaras de segmentação. Diferentemente das abordagens de *Object Detection*, nas quais os objetos são representados apenas por caixas delimitadoras retangulares (*bounding boxes*), a *Instance Segmentation* permite representar formas mais complexas e irregulares. Dessa forma, essa abordagem se mostra particularmente adequada para a delimitação de cômodos em plantas baixas, nos quais os ambientes podem apresentar geometrias variadas.

Esse nível de detalhamento na segmentação permitiu ao sistema automatizar com boa acurácia a interpretação da planta baixa, representando um dos principais avanços no fluxo automatizado de criação do quadro de cargas a partir de desenhos arquitetônicos.

3.2.5 Pós Processamento e Utilização dos Dados Segmentados

Após a obtenção dos resultados da inferência pela rede neural pré-treinada, o sistema inicia o processo de pós-processamento, com o objetivo de preparar as informações de segmentação para as etapas seguintes de identificação e quantificação

dos pontos elétricos.

O primeiro passo deste pós-processamento consiste na conversão dos pontos de contorno fornecidos pela rede neural, originalmente representados como listas de coordenadas (x, y) , em objetos geométricos manipuláveis através da biblioteca Shapely. Com essa conversão, cada cômodo detectado passa a ser representado como um polígono computacionalmente tratável, permitindo a realização de operações geométricas precisas, como intersecções e testes de inclusão ponto-polígono.

Em seguida, é aplicada uma expansão controlada nesses polígonos, que tem como principal finalidade aumentar levemente as áreas segmentadas, criando uma margem de segurança que compensa eventuais imperfeições na segmentação realizada pela rede neural. Isso garante maior robustez para as etapas posteriores, que exigem uma correta delimitação espacial dos cômodos.

Com os polígonos expandidos e devidamente organizados, o sistema passa a dispor de uma estrutura de dados robusta, na qual cada cômodo possui:

- Um polígono representando com precisão sua forma e localização na planta baixa;
- Dados geométricos associados que serão utilizados nas etapas de reconhecimento de texto e, posteriormente, na análise e quantificação dos pontos elétricos;

Esse pós-processamento garante a integridade e a consistência espacial dos dados segmentados, que são essenciais para o correto funcionamento das etapas subsequentes de identificação textual e reconhecimento dos pontos elétricos.

3.2.6 Identificação dos Nomes dos Cômodos via OCR

Após a segmentação geométrica dos cômodos e a organização dos dados espaciais, o sistema inicia a etapa de identificação nominal de cada cômodo através da tecnologia de OCR, utilizando a biblioteca “pytesseract” — um *wrapper* em Python do reconhecido motor Tesseract OCR.

O “pytesseract” é inicializado com uma configuração personalizada para otimizar a leitura de textos típicos de plantas baixas. No código implementado, foi utilizado o seguinte comando de configuração:

```
config = r'--oem 3 --psm 6 -l por+eng'
```

- OEM 3 (*OCR Engine Mode*): seleciona o modo de reconhecimento padrão do Tesseract, que utiliza principalmente modelos baseados em redes neurais do tipo LSTM (*Long Short-Term Memory*), uma arquitetura de rede recorrente projetada para processar sequências de dados, como caracteres em uma linha de texto. Esse modo permite que o mecanismo de OCR analise padrões espaciais e sequenciais presentes nas palavras, aumentando a robustez do reconhecimento textual em imagens.;

- PSM 6 (*Page Segmentation Mode*): informa ao OCR que o layout esperado corresponde a um “bloco uniforme de texto” (ideal para blocos de texto dispersos em plantas);
- Idiomas (por+eng): permite o reconhecimento simultâneo de palavras em português e inglês, considerando que muitas plantas arquitetônicas possuem termos técnicos em ambos os idiomas.

A extração dos textos e suas respectivas posições acontece a partir da função `image_to_data()` do “pytesseract”, que retorna um dicionário com os textos reconhecidos, suas coordenadas de localização e os níveis de confiança atribuídos a cada detecção.

Exemplo simplificado da estrutura de saída:

```
{
  'text': ['QUARTO', 'SALA', ...],
  'conf': [89, 92, ...],
  'left': [150, 300, ...],
  'top': [220, 100, ...],
  'width': [60, 80, ...],
  'height': [20, 25, ...]
}
```

Para cada texto reconhecido, o sistema calcula a posição central do bloco de texto, que será usado para a associação com os polígonos dos cômodos.

Após a identificação dos textos é feita uma filtragem, onde nem todos os textos extraídos são considerados válidos de imediato. O sistema aplica os seguintes critérios de filtragem:

- Confiança mínima: apenas textos com *confidence* > 50% são aceitos;
- Comprimento mínimo: textos com menos de 3 caracteres são descartados, para eliminar ruídos e falsas detecções;
- Texto não vazio: elimina resultados vazios ou compostos apenas por espaços.

Com todos os textos filtrados e suas posições centrais conhecidas, inicia-se o processo de associação automática entre textos e cômodos. Para isso, o sistema percorre cada polígono expandido de cômodo (já obtido na subseção 3.2.5) e verifica se o ponto central de cada texto está contido dentro do polígono. Essa verificação de inclusão ponto-polígono é realizada pela função “contains()” da biblioteca “Shapely”, que oferece precisão geométrica robusta mesmo para polígonos irregulares. Ao encontrar um texto contido dentro de um polígono, o sistema registra aquele texto como sendo o nome oficial daquele cômodo.

Caso nenhum texto seja encontrado dentro de um polígono específico, o sistema aplica um procedimento de contingência, nomeando automaticamente o cômodo com um identificador genérico, como por exemplo: “Não Reconhecido”. Esse mecanismo garante que todas as áreas segmentadas sigam identificadas e possam ser

utilizadas na sequência do processamento.

Essa etapa completa de identificação nominal dos cômodos é crucial para o funcionamento automatizado do quadro de cargas, uma vez que permite dividir os circuitos dos cômodos com base em seus nomes.

3.3 Identificação dos Pontos Elétricos com Rede Neural Própria

Após a segmentação dos cômodos e a identificação textual realizada sobre a planta baixa, o sistema desenvolvido avança para a etapa de quantificação dos pontos elétricos presentes em cada ambiente. Esta tarefa é crucial para a posterior elaboração automática do quadro de cargas, uma vez que permite determinar a quantidade de pontos de iluminação e tomadas de diferentes especificações em cada cômodo da edificação.

Diferentemente da etapa de segmentação dos cômodos, para a qual foi utilizada uma rede neural pré-treinada, a identificação dos pontos elétricos foi realizada através de uma rede neural própria, inteiramente treinada e configurada especificamente para os objetivos desta aplicação. O treinamento desta rede ocorreu na plataforma Roboflow, utilizando um conjunto de dados elaborado manualmente a partir de plantas elétricas, comumente empregadas em projetos prediais residenciais.

Esta rede neural foi projetada para executar tarefas de detecção de objetos (*object detection*), permitindo não apenas identificar a presença dos pontos elétricos, mas também determinar sua quantidade e variação. A abordagem baseada em detecção de instâncias mostrou-se particularmente adequada, considerando as variações visuais dos símbolos elétricos e a necessidade de contar o número exato de ocorrências de cada tipo de ponto.

Nos tópicos a seguir, são detalhados os procedimentos de criação do conjunto de dados, configuração do modelo, treinamento, integração com o sistema e o processamento dos resultados obtidos, apresentando os principais aspectos técnicos envolvidos na utilização dessa rede neural personalizada na aplicação desenvolvida.

3.3.1 Criação do Conjunto de Dados

A primeira etapa do desenvolvimento da rede neural própria para identificação dos pontos elétricos consistiu na montagem do conjunto de dados de treinamento, tarefa de fundamental importância para garantir a capacidade de generalização e a acurácia do modelo.

O conjunto de dados foi composto por um total de 68 imagens, obtidas a partir de projetos elétricos residenciais em fase preliminar de desenvolvimento. Estas plantas representavam exclusivamente a disposição dos pontos elétricos sobre a planta arquitetônica, sem a presença de eletrodutos, fiação ou demais elementos de

infraestrutura, o que garantiu maior clareza e objetividade na identificação dos símbolos a serem detectados.

Para o processo de anotação das imagens, foram definidas três classes de objetos de interesse, representando os principais elementos a serem contabilizados para o cálculo de cargas elétricas:

- Luminárias;
- Tomadas de Uso Geral (10A);
- Tomadas de Uso Específico (20A).

Cada imagem foi cuidadosamente analisada e anotada manualmente, utilizando a ferramenta de anotação disponibilizada pela própria plataforma Roboflow. Durante esta etapa, foi criada uma caixa delimitadora (*bounding box*) ao redor de cada símbolo elétrico correspondente a uma das classes definidas, assegurando a correta localização espacial e categorização de cada ponto.

A seleção exclusiva de imagens contendo apenas os pontos elétricos, desprovidas de linhas de condução e outros elementos gráficos, visou facilitar o aprendizado do modelo, eliminando potenciais fontes de ruído e sobreposição de informações que poderiam dificultar a tarefa de detecção de objetos. Dessa forma, o modelo foi treinado desde o início a reconhecer exclusivamente a simbologia elétrica relevante, favorecendo seu desempenho em plantas elétricas reais, mesmo quando estas apresentam variações em suas características visuais, como diferenças de escala, espessura de traço ou qualidade gráfica.

A composição deste conjunto de dados foi um fator importante para o treinamento do modelo, uma vez que reuniu exemplos variados de disposição dos pontos elétricos em ambientes residenciais, permitindo que a rede fosse exposta a diferentes configurações arquitetônicas e estilos gráficos presentes nas plantas analisadas.

3.3.2 Configuração e Treinamento do Modelo

Com o conjunto de dados previamente montado, deu-se início à fase de configuração e treinamento da rede neural dedicada à detecção dos pontos elétricos. Esta etapa foi inteiramente realizada na plataforma Roboflow, a qual oferece um ambiente *cloud-based* (com aplicativos e infraestrutura em servidores remotos, acessíveis via internet em vez de dispositivos locais) simplificado e eficiente para o treinamento de modelos de visão computacional.

Para garantir a robustez do treinamento e permitir a avaliação adequada do desempenho da rede, o conjunto de dados foi particionado em três subconjuntos:

- Treinamento: 60 imagens (88,2% do total);
- Validação: 5 imagens (7,3% do total);
- Teste: 3 imagens (4,4% do total).

Antes de serem utilizadas no treinamento, as imagens passaram por um pro-

cesso de pré-processamento automático na plataforma, com o objetivo de padronizar o formato de entrada exigido pelo modelo. A transformação aplicada foi o redimensionamento (*Resize*): *Stretch* para resolução fixa de 1024x1024 pixels, garantindo entrada uniforme para a rede.

Para ampliar a diversidade de exemplos durante o treinamento e aumentar a capacidade de generalização do modelo, foram aplicadas técnicas de *data augmentation* sobre o conjunto de dados original. Cada exemplo de imagem foi expandido gerando até 3 variações artificiais com as seguintes alterações:

- Rotação: entre -15° e $+15^\circ$;
- Brilho: variação entre -15% e $+15\%$;
- Adição de ruído gaussiano: até 0,65% dos pixels modificados.

Essas técnicas foram fundamentais para preparar o modelo para lidar com pequenas variações de orientação, luminosidade e imperfeições, como ruídos de digitalização, variações de contraste e pequenas distorções na qualidade da imagem, frequentemente encontradas em plantas baixas digitalizadas ou fotografadas.

Para a arquitetura do modelo, foi adotado o YOLOv11 *Object Detection (Fast)*, uma variante otimizada da consagrada família YOLO, reconhecida pela sua eficiência na detecção de objetos em tempo real. O treinamento foi inicializado a partir de pesos previamente treinados do modelo (*checkpoint*), o que possibilitou aproveitar parâmetros já ajustados em tarefas genéricas de detecção de objetos, acelerando a convergência do modelo, mesmo com um conjunto de dados relativamente pequeno.

Ao final do treinamento, o modelo apresentou resultados expressivos nos conjuntos de validação e teste, evidenciando sua elevada capacidade de detecção para o problema específico proposto. As métricas finais alcançadas foram:

- MAP: 99,5%;
- Precisão (*Precision*): 99,1%;
- Revocação (*Recall*): 100%;

Tais valores demonstram que o modelo foi capaz de detectar praticamente todos os pontos elétricos presentes nas imagens (*recall absoluto*), com baixíssima taxa de falsos positivos (alta precisão), e elevada confiança geral nas detecções realizadas, indicativo essencial para a aplicação, já que a potência dos circuitos é baseada na quantidade dos pontos contidos no projeto.

3.3.3 Integração da Rede Neural com a Aplicação

Com o modelo de detecção de pontos elétricos treinado e hospedado na plataforma Roboflow, a aplicação realiza sua integração de forma análoga ao processo já implementado na etapa de segmentação dos cômodos, utilizando novamente a API da plataforma via pacote “*inference_sdk*”, já descrito anteriormente.

A principal diferença técnica nesta etapa de integração reside na forma como

a aplicação prepara as imagens de entrada para o envio ao modelo de detecção dos pontos elétricos. Após o pós-processamento dos polígonos dos cômodos segmentados (conforme descrito anteriormente), cada região correspondente a um cômodo é recortada da planta baixa original, gerando imagens individuais.

Estas imagens recortadas passam então por um processamento adicional antes de serem enviadas à rede neural de detecção de objetos:

- Redimensionamento (*resize*): a imagem do cômodo é ajustada para uma resolução fixa de 1024x1024 pixels, respeitando o mesmo formato utilizado durante o treinamento do modelo, garantindo compatibilidade entre os dados de treinamento e inferência;
- Ajuste de contraste (*autocontrast*): adicionalmente, a imagem passa por um aumento de contraste, buscando realçar os contornos e símbolos elétricos, facilitando sua detecção pela rede.

Após este processamento, a imagem do cômodo, devidamente preparada, é enviada para o *endpoint* da API Roboflow, e a resposta obtida contém as detecções no formato de *bounding boxes*, listando para cada instância detectada:

- A classe identificada (luminária, tomada 10A, ou tomada 20A);
- As coordenadas da caixa delimitadora (posição central, largura e altura);
- O nível de confiança (*confidence score*);
- Um identificador único de detecção.

A aplicação então realiza um pós-processamento local sobre os resultados, filtrando apenas as detecções com nível de confiança superior ao limiar estabelecido (≥ 0.65), valor comumente utilizado em modelos de detecção de objetos. Com base nesse conjunto filtrado, contabiliza-se a quantidade de cada tipo de ponto elétrico presente no cômodo analisado.

Dessa forma, ao término da execução desta etapa para todos os cômodos previamente segmentados, o sistema possui um inventário estruturado completo de pontos elétricos, organizado individualmente por ambiente e classificado por tipo de carga, servindo como base para a geração automática do quadro de cargas.

3.3.4 Processamento e Organização dos Resultados

Concluída a inferência realizada pela rede neural de detecção de pontos elétricos, a aplicação inicia o processo de organização dos dados obtidos, visando estruturar as informações de forma adequada para as etapas posteriores de cálculo de carga e montagem do quadro de cargas.

O primeiro passo neste processamento é a filtragem dos resultados de detecção. Embora o modelo tenha apresentado alta acurácia, como evidenciado nas métricas obtidas durante o treinamento, ainda assim é possível que algumas detecções com confiança inferior a 65% sejam geradas. Para garantir a robustez do sistema,

apenas detecções cuja confiança supere este limiar mínimo são consideradas válidas.

Cada detecção validada contém, além da classe do ponto elétrico identificado, sua posição na imagem (*bounding box*). Entretanto, como neste estágio o objetivo da aplicação não é a localização exata, mas sim a quantificação precisa dos pontos por cômodo, as coordenadas são descartadas após a validação de confiança, e as contagens de cada classe são acumuladas para o ambiente correspondente.

O mapeamento das detecções aos respectivos cômodos é realizado de forma automática e direta, visto que o processamento de inferência foi executado individualmente sobre cada recorte de cômodo previamente segmentado. Assim, cada conjunto de detecções já está logicamente vinculado ao seu respectivo cômodo desde o início da análise.

Para facilitar o tratamento posterior dos dados e garantir uma estrutura uniforme, a aplicação encapsula as informações de cada cômodo em objetos de dados específicos. Cada objeto contém:

- Nome do cômodo: previamente determinado pela etapa de OCR e associação geométrica;
- Quantidade de luminárias detectadas;
- Quantidade de tomadas de 10A detectadas;
- Quantidade de tomadas de 20A detectadas.

Este conjunto de objetos constitui a base consolidada de informações elétricas da planta analisada. Posteriormente, esses dados estruturados servirão como entrada para os algoritmos de cálculo de potência, dimensionamento de circuitos e elaboração automática do quadro de cargas final, objetivos centrais do sistema proposto.

3.4 Geração do Quadro de Cargas

Após a execução das etapas de segmentação dos cômodos e identificação dos pontos elétricos, o sistema desenvolvido dispõe de um conjunto estruturado de dados que representa, com alto nível de detalhamento, a planta baixa analisada. Esses dados contemplam, para cada cômodo identificado, o respectivo nome, obtido por meio de reconhecimento óptico de caracteres (OCR), quando há texto identificável na planta, ou por meio de um processo automático de nomeação genérica quando essa informação não pode ser extraída diretamente da imagem, além da contagem individualizada dos pontos de iluminação, tomadas de uso geral (10A) e tomadas de uso específico (20A).

A partir destas informações, torna-se possível automatizar a elaboração do quadro de cargas da edificação, tarefa essencial em projetos elétricos. Esta automação visa aplicar sistematicamente os critérios normativos e práticos adotados na engenharia elétrica para determinar os dimensionamentos de cada circuito, respeitando as regras estabelecidas por normas técnicas como a NBR 5410, bem como os procedimentos comumente utilizados em projetos residenciais. Ressalta-se, contudo, que a

aplicação proposta atua como uma ferramenta de apoio ao projetista, não substituindo a responsabilidade técnica do profissional habilitado, que permanece responsável pela análise, validação e adequação final do projeto.

Este subcapítulo descreve a lógica de funcionamento da aplicação durante a geração do quadro de cargas. São abordadas as etapas de preparação dos dados de entrada, definição dos parâmetros de cálculo, implementação do algoritmo de cálculo de potência, montagem estruturada do quadro de cargas, e as considerações técnicas acerca de suas limitações e perspectivas de evolução.

3.4.1 Estruturação dos Dados de Entrada

Concluídas as etapas de reconhecimento dos cômodos e quantificação dos pontos elétricos em cada ambiente, o sistema organiza as informações obtidas em uma estrutura de dados intermediária, a partir da qual será realizado o cálculo automático do quadro de cargas. Nesta estrutura, cada cômodo é representado por uma instância de objeto da classe “Comodo”, definida previamente na aplicação.

Cada objeto “Comodo” armazena os seguintes atributos:

- Nome do cômodo (nome): obtido através do processo de reconhecimento de texto via OCR, ou atribuído automaticamente por um processo de nomeação genérica nos casos onde não foi identificado texto correspondente;
- Quantidade de luminárias (“iluminacao”): número de pontos de iluminação identificados na detecção de objetos;
- Quantidade de tomadas de 10 A (tomada_10A): número de pontos de tomadas de uso geral detectados;
- Quantidade de tomadas de 20 A (tomada_20A): número de pontos de tomadas de uso específico detectados.

Com base nesses dados elementares, o sistema está apto a calcular a carga instalada em cada ambiente. As potências unitárias a serem atribuídas a cada tipo de ponto não são fixas e são definidas dinamicamente pelo próprio usuário na interface da aplicação, oferecendo flexibilidade para que o sistema se adapte a diferentes normas, critérios de projeto ou tipos de edificação.

Os parâmetros de potência que o usuário pode configurar incluem:

- Potência por ponto de iluminação;
- Potência por ponto de tomada de uso geral (10 A);
- Potência por ponto de tomada de uso específico (20 A).

Esta parametrização torna o sistema aplicável a uma ampla gama de projetos, permitindo ao engenheiro adequar os cálculos às exigências de cada caso específico.

A partir dessa estrutura organizada por ambiente, o sistema inicia o processamento dos dados para posteriormente dividir os circuitos, realizar o balanceamento de cargas entre as fases, dimensionar condutores, selecionar disjuntores e exportar o

quadro final em formato de planilha.

3.4.2 Cálculo das Potências Individuais dos Ambientes

Com a estrutura de dados dos cômodos devidamente organizada e as potências unitárias definidas pelo usuário, o sistema inicia o cálculo das cargas elétricas individuais de cada ambiente. Este processamento é realizado por meio do método “calcular_cargas” da classe “QuadroCargas”, cuja função principal é percorrer a lista de objetos “Comodo” e calcular a potência total correspondente a cada tipo de ponto instalado.

O processamento para cada cômodo ocorre com base na multiplicação do número de pontos pela potência unitária do respectivo tipo de equipamento elétrico (luminária, tomada 10A ou tomada 20A). Por fim, a carga total do cômodo é calculada pela soma das cargas individuais de iluminação e tomadas.

- $\text{Carga total} = \text{Carga Iluminação} + \text{Carga Tomadas 10A} + \text{Carga Tomadas 20A}$;

Para a atribuição das potências associadas aos pontos de tomada, o sistema considera os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 5410. Em ambientes como cozinhas, copas, áreas de serviço, lavanderias, banheiros e locais semelhantes, os três primeiros pontos de tomada são considerados com potência de 600 VA cada, enquanto os pontos adicionais são considerados com 100 VA, conforme recomendado pela norma.

Para os demais ambientes, o sistema utiliza as potências unitárias previamente definidas pelo usuário no início do processamento. Dessa forma, mantém-se a flexibilidade da ferramenta, permitindo sua adaptação a diferentes cenários de projeto e critérios de dimensionamento adotados pelo projetista.

O resultado final desta etapa é uma lista de dicionários, onde cada dicionário contém:

- Nome do cômodo;
- Quantidade de cada tipo de ponto;
- Cargas individuais por tipo de ponto;
- Carga total acumulada do ambiente.

Este nível intermediário de processamento cria um “mapa” de cargas por ambiente, que será posteriormente utilizado na etapa de agrupamento e composição dos circuitos elétricos, respeitando critérios técnicos e funcionais, conforme descrito no próximo item.

Tabela 1 – Exemplo de um “mapa” de cargas por ambiente

Ambiente	Iluminação (VA)	Tomadas 10A (VA)	Tomadas 20A (VA)	Carga total (VA)
Sala de estar	200	600	0	800
Cozinha	200	0	1300	1500
Banheiro 1	100	0	600	700
Suíte 1	200	400	0	600
Banheiro da Suíte	100	0	600	700
Dormitório	200	800	0	1000
Total				5300

A abordagem adotada, garante flexibilidade e precisão, ao permitir o cálculo detalhado e separado de cada componente de carga em cada cômodo, refletindo fielmente a distribuição real dos pontos elétricos na planta, conforme detectado automaticamente nas etapas anteriores do sistema.

3.4.3 Divisão dos Circuitos

Com as potências individuais dos ambientes já calculadas, o sistema avança para a etapa de agrupamento das cargas em circuitos elétricos, respeitando critérios funcionais adotados em projetos elétricos residenciais, como a separação entre circuitos de iluminação e circuitos de tomadas, além do agrupamento das cargas conforme o ambiente ou função a que pertencem.

Nesta etapa, o sistema percorre novamente a lista de cômodos, agora agrupando suas cargas de acordo com a tipologia e destinação de uso de cada ambiente, com base na identificação nominal realizada anteriormente pela detecção de texto. O algoritmo utiliza regras textuais simples para classificar automaticamente os cômodos, analisando a presença de palavras-chave no nome do cômodo (normalizadas em letras minúsculas), conforme descrito a seguir:

a) Regras de agrupamento de tomadas:

- Tomadas de Cozinha e Copa:
Cômodos contendo termos como “cozinha” ou “copa” têm suas cargas de tomadas somadas e atribuídas ao circuito “Tomadas Cozinha”;
- Tomadas de Área de Serviço e Banheiros:
Ambientes identificados como “serviço”, “lavanderia” ou “banheiro” são alocados ao circuito “Tomadas Área Serviço/Banheiros”;
- Tomadas de Salas e Áreas Comuns:
Cômodos nomeados como “sala”, “estar”, “jantar”, “living” ou “circulação” compõem o circuito “Tomadas Sala e Áreas Comuns”;
- Tomadas de Suítes:
Cada ambiente identificado como “suíte” gera um circuito independente (ex.: “Tomadas Suíte 1”, “Tomadas Suíte 2”, etc), permitindo flexibilidade no dimensionamento.

namento individualizado destes ambientes;

- Tomadas de Quartos/Dormitórios:

Cômodos contendo “quarto” ou “dormitório” são agrupados em “Tomadas Quartos/Dormitórios”;

b) Regras de agrupamento de iluminação:

- Iluminação de Áreas Comuns:

Ambientes de uso comum, identificados pelos mesmos critérios dos agrupamentos anteriores de tomadas, têm suas cargas de iluminação somadas no circuito “Iluminação Áreas Comuns”;

- Iluminação Privativa:

Demais ambientes não classificados anteriormente são alocados no circuito “Iluminação Áreas Privativas”;

c) Inclusão de Circuito de Carga Fixa:

- Chuveiro:

De forma automática, o sistema adiciona um circuito fixo para cada banheiro identificado na planta baixa, denominado “Chuveiro”. Para fins de estimativa inicial da carga, é considerada uma potência típica de 6000 VA, valor representativo de chuveiros elétricos residenciais comumente utilizados em instalações domésticas.

Ao término dessa etapa de agrupamento, é gerada uma lista consolidada contendo a descrição de cada circuito e sua respectiva potência total acumulada. Esta abordagem automatiza de forma robusta uma das etapas mais trabalhosas da montagem do quadro de cargas em projetos elétricos, respeitando critérios funcionais de divisão de circuitos e recomendações de projeto estabelecidas pela ABNT NBR 5410.

3.4.4 Dimensionamento dos Condutores e Disjuntores

Com a lista de circuitos e suas respectivas potências totais já definida, o sistema prossegue para o dimensionamento automático dos condutores e dispositivos de proteção de cada circuito individual, etapa realizada no próprio método `montar_quadro_final`. Este procedimento é fundamentado nos critérios estabelecidos pela norma técnica brasileira ABNT NBR 5410:2004.

Embora os circuitos da instalação sejam considerados monofásicos, o sistema assume que o quadro de distribuição é alimentado por um sistema trifásico. Dessa forma, após o dimensionamento individual dos circuitos, estes podem ser distribuídos entre as fases disponíveis para promover um balanceamento aproximado das cargas.

a) Cálculo da corrente de projeto

Para cada circuito é calculada a corrente de projeto I_b , assumindo circuitos monofásicos alimentados a 220 V, segundo a equação fundamental da potência elétrica:

$$I_b = \frac{S}{V} \quad (1)$$

onde:

- I_b é a corrente de projeto do circuito (A);
- S é a potência total do circuito (em Volt-Ampere);
- V é a tensão nominal do circuito (220 V).

Este cálculo fornece a corrente elétrica do circuito em ampères, que será utilizada como base para o dimensionamento dos condutores e dispositivos de proteção.

De acordo com a ABNT NBR 5410:2004, o dimensionamento deve respeitar a seguinte relação fundamental:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (2)$$

onde:

- I_b é a corrente de projeto do circuito;
- I_n é a corrente nominal do dispositivo de proteção (disjuntor);
- I_z é a capacidade de condução de corrente do condutor.

Essa relação garante que o dispositivo de proteção seja selecionado de forma adequada para proteger o condutor contra condições de sobrecorrente, incluindo situações de sobrecarga e curto-circuito.

b) Seleção do dispositivo de proteção

Com a corrente de projeto I_b já determinada, o próximo passo consiste na seleção do dispositivo de proteção do circuito. O disjuntor é escolhido de forma que sua corrente nominal I_n seja superior ou igual à corrente de projeto do circuito, atendendo à primeira condição estabelecida pela norma:

$$I_b \leq I_n \quad (3)$$

O disjuntor selecionado tem como função proteger o circuito contra condições de sobrecorrente, incluindo situações de sobrecarga e curto-circuito.

Para simplificação do processo automatizado, o sistema adota valores padronizados de disjuntores usualmente empregados em instalações elétricas residenciais.

c) Seleção da seção dos condutores segundo a NBR 5410

Uma vez definido o dispositivo de proteção do circuito, procede-se ao dimensionamento do condutor elétrico. A seção do condutor deve ser escolhida de modo que sua capacidade de condução de corrente seja superior ou igual à corrente nominal do disjuntor, atendendo assim à condição:

$$I_n \leq I_z \quad (4)$$

onde I_z representa a capacidade de condução de corrente do condutor.

Para determinar esta capacidade, o sistema consulta a tabela 36 da ABNT NBR 5410:2004, que apresenta os valores de corrente admissível para condutores de cobre com isolamento em PVC. A seleção considera o método de instalação B1, correspondente a condutores instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, condição comum em instalações residenciais.

Além disso, o sistema considera a possibilidade de agrupamento de circuitos em um mesmo eletroduto. Para simplificação do modelo adotado, assume-se a instalação de até três circuitos por eletroduto, aplicando-se assim um fator de correção por agrupamento de 0,7 sobre a capacidade de condução de corrente dos condutores, conforme fatores de correção indicados pela norma.

Dessa forma, a corrente admissível considerada no dimensionamento corresponde ao valor da tabela normativa ajustado por este fator de correção.

Adicionalmente, são respeitadas as seções mínimas de condutores estabelecidas pela ABNT NBR 5410:2004 para instalações residenciais:

- 1,5 mm² para circuitos de iluminação;
- 2,5 mm² para circuitos de tomadas de uso geral.

Assim, para cada circuito, é selecionada a menor seção de condutor cuja capacidade de condução de corrente corrigida seja superior ou igual à corrente nominal do disjuntor selecionado.

d) Tabelamento dos dispositivos de proteção

Para garantir a consistência entre a seção do condutor e o dispositivo de proteção selecionado, o sistema utiliza um tabelamento simplificado que associa cada seção de condutor a um valor típico de disjuntor empregado em instalações residenciais.

Quadro 2 – Dispositivos de proteção considerando fator de agrupamento

Seção do condutor	Corrente admissível I_z (método B1)	Corrente corrigida $I_{z,cor}$ ($f_g = 0,7$)	Disjuntor (A)
1,5 mm ²	17,5 A	12,25 A	10 A
2,5 mm ²	24 A	16,8 A	16 A
4,0 mm ²	32 A	22,4 A	20 A
6,0 mm ²	41 A	28,7 A	32 A

Este mapeamento assegura que os disjuntores jamais excedam a capacidade máxima de condução de corrente dos condutores, conforme preconizado pela ABNT NBR 5410:2004.

Dessa forma, o procedimento adotado permite ao sistema realizar o dimensionamento automático dos circuitos de forma consistente com os critérios estabelecidos

pela norma, garantindo que a seleção dos dispositivos de proteção e dos condutores respeite simultaneamente as condições de segurança elétrica e capacidade de condução de corrente.

d) Distribuição trifásica balanceada: Com os circuitos já dimensionados, o sistema ainda executa uma lógica de balanceamento simples entre as fases R, S e T, distribuindo sequencialmente cada circuito nas fases disponíveis. Este balanceamento contribui para a uniformização das correntes entre as fases, minimizando assimetrias no alimentador geral e promovendo maior eficiência operacional da instalação elétrica. Por final, o resultado desta etapa é um quadro de circuitos dimensionados, cada um com:

- Descrição funcional;
- Potência atribuída;
- Corrente de projeto;
- Seção de condutor calculada conforme NBR 5410;
- Disjuntor de proteção adequado;
- Fase de alimentação correspondente.

Tabela 2 – Exemplo simplificado dos circuitos dimensionados

Descrição do circuito	Potência (VA)	Corrente (A)	Seção (mm ²)	Disjuntor (A)	Fase
Iluminação comum	800	3,63	1,5	10	R
Tomadas de uso geral	1800	8,18	2,5	16	S
Tomadas da cozinha	2200	10	2,5	16	T

3.4.5 Dimensionamento da Alimentação Geral

Após o dimensionamento individual de cada circuito terminal, a aplicação realiza o cálculo da alimentação geral, responsável por suprir a carga total da instalação.

a) Cálculo da potência total instalada

A potência total instalada é obtida por meio da soma direta das potências aparentes de todos os circuitos terminais previamente dimensionados. Esse valor representa a demanda máxima que deverá ser atendida pelo alimentador geral da instalação.

b) Determinação da corrente de projeto do alimentador

A corrente de projeto do alimentador geral é calculada a partir da potência total instalada e da tensão de alimentação do sistema trifásico (assumindo sistema 220/380 V), segundo a expressão:

$$I_{total} = \frac{P_{total}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot FP} \quad (5)$$

onde:

- I_{total} é a corrente de projeto do alimentador (A);

- P_{total} é a potência total instalada da edificação (W);
- V_L é a tensão de linha do sistema trifásico (380 V);
- FP é o fator de potência adotado para o cálculo (0,92).

Esse cálculo fornece a corrente elétrica que deverá ser suportada pelo alimentador geral da instalação.

c) Dimensionamento do condutor do alimentador

De posse da corrente de projeto, realiza-se o dimensionamento do condutor do alimentador geral. Para isso, são utilizadas as tabelas de capacidade de condução de corrente apresentadas na tabela 36 da ABNT NBR 5410:2004.

De forma semelhante ao dimensionamento dos circuitos terminais, considera-se o método de instalação B1, correspondente a condutores instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria. A seção do condutor é selecionada de modo que sua capacidade de condução de corrente admissível seja superior ou igual à corrente de projeto calculada para o alimentador.

d) Dimensionamento do disjuntor geral

O disjuntor geral é então selecionado de forma a garantir a proteção do condutor do alimentador contra condições de sobrecorrente, incluindo sobrecarga e curto-circuito.

Assim como nos circuitos terminais, deve-se respeitar a relação fundamental estabelecida pela ABNT NBR 5410:2004:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (6)$$

onde:

- I_b corresponde à corrente de projeto do alimentador;
- I_n é a corrente nominal do disjuntor geral;
- I_z é a capacidade de condução de corrente do condutor selecionado.

Dessa forma, o disjuntor geral é escolhido de modo a proteger adequadamente o condutor do alimentador, sem provocar desligamentos indevidos durante a operação normal da instalação.

3.4.6 Exportação do Quadro de Cargas

Com o quadro de cargas completamente estruturado, incluindo os circuitos definidos, as potências associadas, correntes calculadas, seções dos condutores, disjuntores e faseamento, a aplicação oferece ao usuário a funcionalidade de exportação automática para planilha, permitindo o registro formal e reutilização dos dados para elaboração de outras etapas do projeto.

Essa exportação é realizada utilizando a biblioteca “pandas” em conjunto com a “openpyxl”, que permite, tanto a criação do arquivo .xlsx, quanto sua posterior formatação.

a) Estrutura da planilha gerada:

A planilha final é composta por uma tabela organizada com os seguintes campos:

Tabela 3 – Campos do Quadro de Cargas

Campo	Descrição
Circuito	Número sequencial do circuito
Descrição	Tipo de carga atendida (ex: “Tomadas Cozinha”)
Esquema	Representação do esquema de ligação (ex: F+N+T ou 3F+N+T)
Tensão (V)	Valor nominal da tensão de alimentação (ex: 220 V)
Pot. Total (VA)	Potência total do circuito em Volt-Ampere
Fases	Identificação da fase atribuída (R, S, T ou R+S+T)
Pot. R, S, T (VA)	Potência por fase (valores preenchidos conforme fase atribuída)
Seção (mm ²)	Bitola dos condutores do circuito, conforme dimensionamento
Disjuntor (A)	Corrente nominal do disjuntor selecionado para proteção do circuito

Além das linhas correspondentes a cada circuito, a planilha também inclui uma linha final de totais, que consolida a potência total da instalação, a distribuição por fases, o esquema geral de ligação e o dimensionamento do disjuntor e condutor geral de entrada.

b) Formatação e apresentação:

Após a criação da planilha, a aplicação executa uma etapa de formatação automática, com os seguintes ajustes visuais e funcionais:

- Bordas finas aplicadas a todas as células da tabela;
- Centralização de texto horizontal e vertical em todas as células;
- Ajuste automático da largura das colunas com base no conteúdo;
- Cabeçalhos e linha de totais em negrito, para facilitar a leitura e destacá-los do restante dos dados.

Essa padronização proporciona um resultado final limpo, legível e compatível com documentos técnicos utilizados em projetos de instalações elétricas.

c) Caminho de exportação:

O caminho de exportação do arquivo é definido dinamicamente dentro da aplicação, podendo ser customizado pelo usuário final conforme o sistema onde a aplicação estiver sendo executada. Por padrão, o nome do arquivo e a pasta de destino são definidos conforme a operação de geração do quadro.

3.5 Interface da Aplicação

Com o desenvolvimento das funcionalidades centrais da aplicação, incluindo a segmentação de cômodos, detecção dos pontos elétricos e geração automática do quadro de cargas, tornou-se essencial a criação de uma interface gráfica que permitisse ao usuário interagir de forma intuitiva e funcional com todas essas etapas do processo. Este subcapítulo tem como objetivo descrever o design e a estrutura da interface da aplicação desenvolvida, abordando seus principais componentes e como cada funcionalidade foi disponibilizada ao usuário final.

A interface da aplicação desempenha um papel central na experiência de uso, pois é por meio dela que o usuário:

- Carrega a planta baixa da edificação;
- Configura parâmetros técnicos, como as potências unitárias de cada tipo de ponto elétrico;
- Aciona o processamento automatizado das imagens;
- Visualiza os resultados da segmentação e contagem dos pontos;
- Exporta o quadro de cargas gerado automaticamente.

Além de disponibilizar essas funcionalidades, a interface foi projetada com atenção à simplicidade visual, responsividade e clareza na apresentação dos dados. Dessa forma, busca-se garantir que mesmo usuários com conhecimento técnico moderado em elétrica ou computação consigam operar a aplicação com fluidez.

Nos tópicos a seguir, será apresentada a estrutura detalhada da interface gráfica, desde o layout geral até os elementos interativos utilizados em cada etapa do fluxo da aplicação.

3.5.1 Estrutura Geral da Interface

A interface gráfica da aplicação foi desenvolvida em Python utilizando a biblioteca “tkinter”, com suporte adicional das bibliotecas “ttk”, “Pillow” e “messagebox” para criação de componentes modernos, manipulação de imagens e comunicação com o usuário. A estrutura foi projetada para oferecer uma experiência intuitiva, guiando o usuário desde a seleção da planta baixa até a exportação final do quadro de cargas, conforme mostra a figura 3.

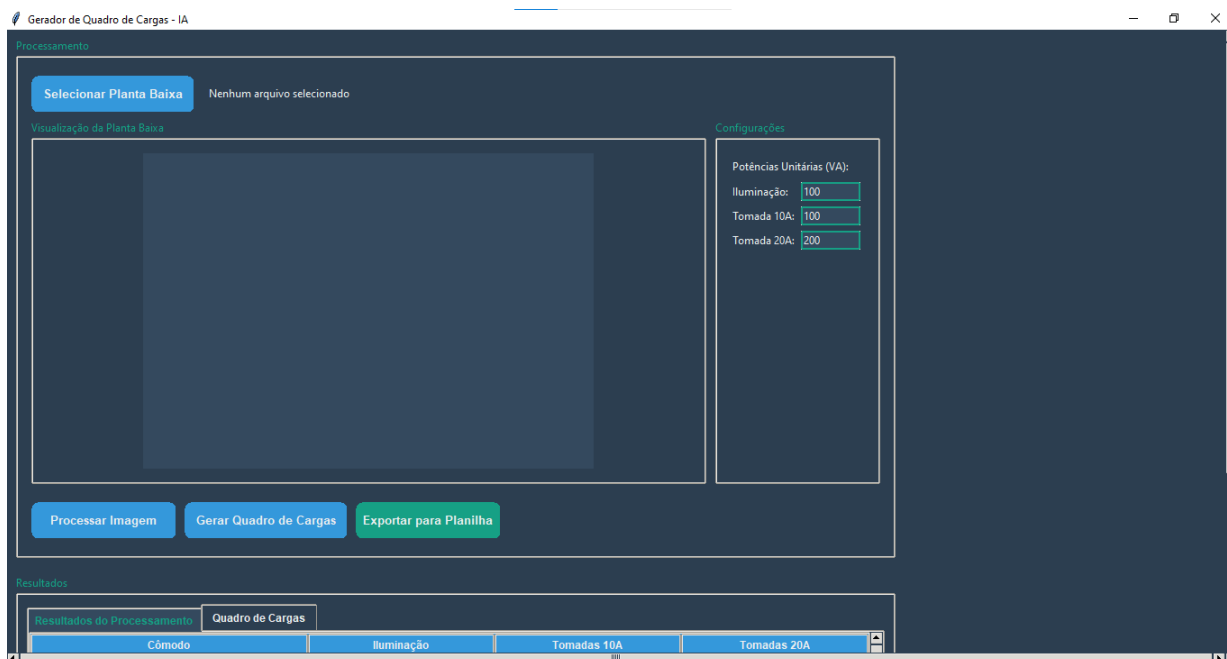
A janela principal da aplicação é dividida logicamente em duas grandes seções, organizadas em *LabelFrames*:

a) Seção de Processamento

Esta seção localiza-se na parte superior da interface e é composta por três elementos principais:

- Upload da Planta Baixa: Um botão personalizado (estilizado com Canvas) permite ao usuário selecionar a planta baixa a ser processada. O nome do arquivo

Figura 3 – Interface gráfica da aplicação



Fonte: Autor

- selecionado é exibido ao lado, e, após a seleção, a imagem é carregada e redimensionada automaticamente para visualização dentro de um Canvas;
- Configurações de Potências Unitárias: Ao lado da visualização da imagem, há campos de entrada onde o usuário pode definir as potências unitárias para pontos de iluminação, tomadas de 10 A e tomadas de 20 A. Esses valores são utilizados no cálculo das cargas e podem ser ajustados conforme o perfil da edificação analisada;
- Botões de Ação: Abaixo das configurações, há três botões principais:
 - Processar Imagem: realiza a inferência da imagem da planta, identificando os cômodos e os pontos elétricos;
 - Gerar Quadro de Cargas: executa o agrupamento das cargas, divisão por circuitos e dimensionamento;
 - Exportar para planilha: salva o quadro de cargas completo em uma planilha formatada.

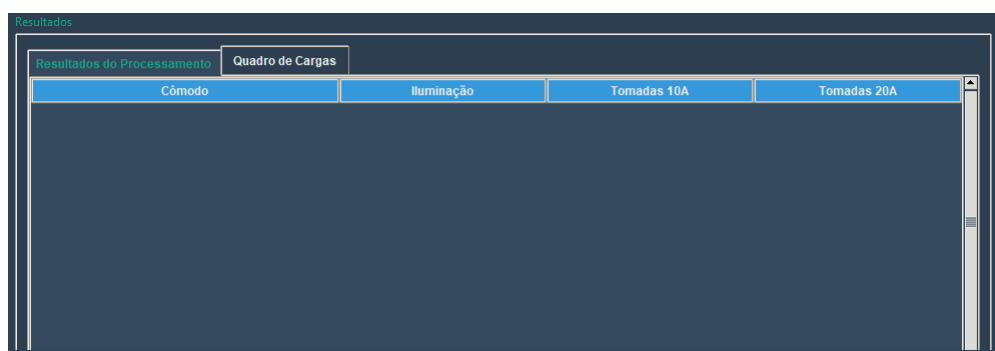
Esses botões são ativados em sequência, de acordo com o avanço das etapas.

b) Seção de Resultados

Na parte inferior da interface está a aba de resultados, organizada por meio de um *Notebook* com duas guias, conforme mostra a figura 4:

- Resultados do Processamento: Exibe, em uma Treeview, o nome de cada cômodo identificado e a quantidade de pontos de iluminação, tomadas de 10 A e de 20 A presentes;
- Quadro de Cargas: Após o processamento, esta aba apresenta o quadro de

Figura 4 – Guias dos resultados da aplicação



Fonte: Autor

cargas completo, com todos os circuitos listados, incluindo informações como tensão, potência total, fase, seção dos condutores e disjuntor correspondente. Uma linha final resume a potência total e a configuração do sistema.

A interface ainda conta com barras de rolagem verticais e horizontais para navegação confortável, mesmo em resoluções menores ou com quadros extensos. Além disso, o projeto visual aplica uma paleta de cores baseada em tons escuros com contrastes suaves, tornando o uso mais agradável e moderno.

3.5.2 Entrada do Arquivo da Planta Baixa

A entrada da planta baixa é o ponto inicial do fluxo de utilização da aplicação. Esta funcionalidade foi implementada por meio do botão “Selecionar Planta Baixa”, localizado na seção de processamento da interface. O botão é construído sobre um Canvas personalizado, o que permite aplicar efeitos visuais mais modernos e destacá-lo do restante da interface.

Ao acionar o botão, a aplicação abre uma janela de diálogo que restringe a seleção a arquivos de imagem nos formatos .jpg e .png. Uma vez escolhido o arquivo, o sistema realiza automaticamente as seguintes operações:

- Exibição do nome do arquivo: O caminho do arquivo selecionado é exibido em um Label, garantindo ao usuário a confirmação da escolha;
- Carregamento da imagem: A planta baixa é aberta utilizando a biblioteca Pillow (PIL) e redimensionada proporcionalmente para caber dentro do espaço disponível no Canvas de visualização;
- Atualização visual imediata: A imagem é convertida em um objeto compatível com o tkinter (ImageTk.PhotoImage) e exibida diretamente na interface, substituindo qualquer conteúdo anterior;

A partir desse ponto, a imagem carregada passa a ser a base de todo o processamento subsequente. Apenas após essa etapa o usuário pode avançar para o botão “Processar Imagem”, o que garante que sempre haja uma planta carregada

antes da execução da rede neural.

Essa implementação proporciona uma experiência simples e direta, reduzindo erros de operação e assegurando que todo o fluxo se inicie com a escolha correta da planta baixa.

3.5.3 Definição das potências unitárias

A aplicação disponibiliza campos específicos para a definição das potências unitárias, que servem de base para o cálculo do quadro de cargas. Estes campos são acessíveis na seção de parâmetros, localizada na interface principal, e contemplam três tipos de elementos:

- Luminárias;
- Tomadas de uso geral 10 A;
- Tomadas de uso específico 20 A.

Cada um desses elementos é representado por uma caixa de entrada (*Entry*), permitindo ao usuário digitar o valor em Volt-Ampere (VA). Para auxiliar na correta utilização, os campos são acompanhados por rótulos (*Label*) descritivos, que indicam claramente a qual tipo de carga cada potência corresponde.

A implementação contempla ainda uma validação de entrada numérica. Essa verificação garante que apenas números sejam aceitos nos campos de potência, evitando inconsistências no cálculo. Caso seja inserido um valor inválido (como letras ou símbolos), a aplicação desconsidera a entrada até que um número válido seja fornecido.

Como padrão inicial, a interface sugere valores de referência comumente empregados em projetos elétricos residenciais. No entanto, o usuário pode personalizar esses valores de acordo com as particularidades de cada projeto, tornando a aplicação flexível e adaptável a diferentes cenários.

Essas definições têm impacto direto no resultado final, pois os valores fornecidos pelo usuário são aplicados no cálculo das potências que compõem o quadro de cargas.

3.5.4 Resultados Gerados

A interface da aplicação foi projetada para que o usuário inicie o processamento de forma simples e direta. Uma vez que os parâmetros principais já foram definidos (imagem da planta, potência unitária de luminárias e tomadas), a interação do usuário se resume à ativação de um único comando para dar início ao cálculo automático.

- Execução do processamento:

A interface disponibiliza um botão para iniciar o processamento da planta baixa. Ao ser acionado, o sistema executa as rotinas responsáveis pela aplicação das redes neurais utilizadas na solução, realizando a segmentação dos cômodos

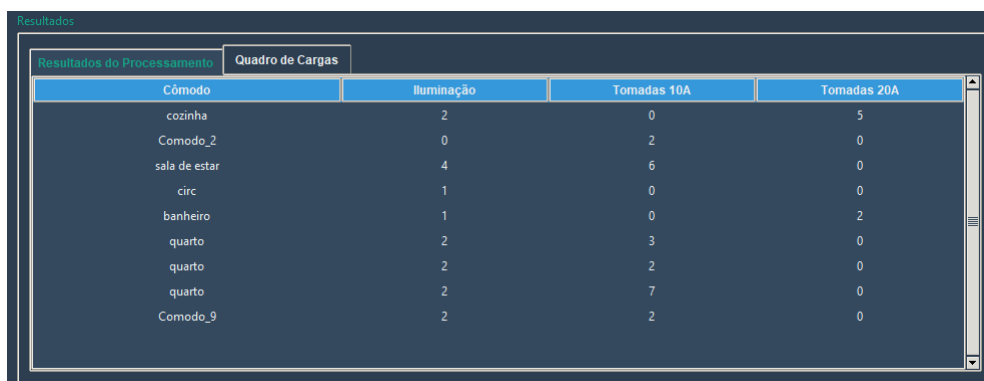
e a identificação dos pontos elétricos presentes em cada ambiente. A partir dessas informações, os dados são organizados automaticamente para a geração do quadro de cargas preliminar. Todo o fluxo ocorre em segundo plano, sem necessidade de intervenções adicionais do usuário.

- Apresentação dos resultados:

Após o processamento, a interface disponibiliza a visualização dos resultados de forma organizada, conforme mostra a Figura 5. O usuário pode acompanhar:

- A planta baixa processada, com os cômodos reconhecidos e a quantidade de pontos elétricos identificados;
- O quadro de cargas resultante, gerado automaticamente a partir dos parâmetros definidos. Esse quadro apresenta a divisão de circuitos e suas potências atribuídas, possibilitando a validação inicial pelo projetista;

Figura 5 – Resultados do processamento da imagem



Cômodo	Iluminação	Tomadas 10A	Tomadas 20A
cozinha	2	0	5
Comodo_2	0	2	0
sala de estar	4	6	0
circ	1	0	0
banheiro	1	0	2
quarto	2	3	0
quarto	2	2	0
quarto	2	7	0
Comodo_9	2	2	0

Fonte: Autor

- Exportação:

Além da visualização direta, a aplicação oferece a opção de exportar os resultados em formato de planilha (.xlsx). Essa funcionalidade permite que o quadro de cargas seja integrado facilmente ao fluxo de trabalho do engenheiro, seja para ajustes posteriores, seja para inclusão em memoriais descritivos e demais documentações do projeto.

Esse conjunto de funcionalidade destaca a praticidade e a objetividade da aplicação proposta. A interface concentra todas as interações do usuário em etapas bem definidas: inserção da planta baixa, parametrização das potências unitárias, execução do processamento e visualização/exportação dos resultados. Dessa forma, o sistema consegue equilibrar simplicidade de uso e eficiência, permitindo que o projetista tenha autonomia para personalizar os parâmetros do projeto, mas sem se preocupar com etapas complexas de cálculo e organização dos dados. O resultado é uma interface intuitiva, que atua como um elo entre o conhecimento técnico do usuário e o poder de automação da aplicação.

4 TESTES DE USABILIDADE E VALIDAÇÃO

As seguintes seções descrevem as etapas de definição dos procedimentos utilizados para realização dos testes de usabilidade e validação da acurácia da aplicação:

4.1 Definição do Plano de Testes

4.1.1 Objetivos

- Avaliar a eficiência e eficácia das funcionalidades implementadas;
- Avaliar a facilidade de uso da aplicação;
- Medir e comparar o tempo de execução do processo manual e automatizado;
- Identificar erros ou travamentos durante a execução;
- Avaliar a acurácia dos resultados obtidos pela aplicação em comparação ao método manual;
- Obter *feedback* qualitativo sobre a experiência de uso e sugestões de melhorias;

4.1.2 Definição e Recrutamento dos Participantes

A definição do perfil dos participantes dos testes é fundamental para garantir a validade dos dados coletados. Considerando que a aplicação desenvolvida tem como público-alvo engenheiros e projetistas de instalações elétricas, foram selecionados participantes com experiência prática na elaboração de projetos, ainda que em diferentes níveis de formação e atuação.

Assim, o grupo de participantes foi composto por quatro profissionais, conforme descrito a seguir:

- Engenheiro civil, atuando como projetista, a fim de avaliar a aplicabilidade da ferramenta também por profissionais de áreas correlatas;
- Engenheiro eletricitista, com experiência em projetos de instalações prediais, representando o público mais próximo do foco principal da aplicação;
- Engenheiro eletricitista em formação (acadêmico), atuando como projetista, para avaliar a curva de aprendizado de usuários em início de carreira;
- Estagiário de engenharia elétrica, em fase inicial de experiência profissional, representando o usuário com menor familiaridade com o processo de elaboração de quadros de cargas.

A escolha desse grupo foi embasada no estudo de Nielsen e Landauer (1993), que demonstra que a participação de 4 a 5 usuários já é suficiente para identificar a maior parte dos problemas de usabilidade em uma aplicação. Dessa forma, a composição definida garante diversidade de perfis, mas sem comprometer a viabilidade prática dos testes.

4.1.3 Definição do Local dos Testes

A escolha do local destinado à execução dos testes levou em conta critérios práticos, como facilidade de acesso, disponibilidade de equipamentos e adequação do ambiente às necessidades da aplicação. Também, se considerou a importância de realizar os testes em um espaço que fosse representativo do contexto real de uso, de modo a aproximar a experiência do usuário ao cenário profissional.

Assim, optou-se por realizar a atividade de forma presencial em um escritório de engenharia (MK ENGENHARIA, 2025). O ambiente proporcionou as condições necessárias para a condução dos testes, incluindo infraestrutura adequada e a autorização prévia do responsável pelo espaço, assegurando a legitimidade e a pertinência do local escolhido.

Os equipamentos utilizados foram computadores com sistema operacional Windows 10, e as ferramentas de apoio incluíram um software de planilhas eletrônicas, empregado para a elaboração manual do quadro de cargas, e o Google Docs, utilizado para o preenchimento do questionário de avaliação pelos participantes.

4.2 Questões

O questionário aplicado ao término dos testes teve como objetivo coletar a percepção dos usuários a respeito da usabilidade, eficiência e confiabilidade do aplicativo. As perguntas foram elaboradas de forma a contemplar tanto aspectos qualitativos, como clareza da interface, facilidade de operação e sugestões de melhorias. Quanto aspectos quantitativos, como o tempo necessário para a execução das tarefas e a acurácia dos resultados gerados em comparação ao projeto manual do quadro.

As questões foram organizadas em quatro categorias principais, de modo a refletir as etapas de interação do usuário com o aplicativo: interface da aplicação, definição das potências unitárias, geração automática do quadro de cargas e feedback geral quanto às funcionalidades do sistema.

A Tabela 4 apresenta de forma consolidada todas as questões do questionário respondido pelos participantes, agrupadas segundo essas categorias.

Tabela 4 – Questões utilizadas no Teste

Categoria	Questão
Feedback quanto à interface da aplicação	Comente sobre a facilidade ou dificuldade que você teve em utilizar a interface do aplicativo (ex.: navegação entre as etapas, clareza dos botões e campos de entrada). (resposta livre)
	O que você achou da curva de aprendizado da aplicação? (escala de 5 níveis: muito difícil a muito fácil)
	Você se deparou com algum travamento ou erro de funcionamento durante o uso da aplicação? Se sim, descreva brevemente: (resposta livre)
Feedback quanto à definição das potências unitárias	A etapa de definição das potências unitárias dos pontos elétricos foi clara e de fácil preenchimento? (sim ou não)
	Em caso negativo, o que poderia ser melhorado para facilitar essa etapa? (resposta livre)
	Você considera que a forma de definir as potências unitárias contribuiu para a padronização e organização do projeto? (resposta livre)
Feedback quanto à geração automática do quadro de cargas	Você percebeu diferença entre os resultados obtidos manualmente e os gerados pela aplicação? Se sim, descreva quais foram essas diferenças e informe o valor da diferença da potência obtida entre os dois quadros: (resposta livre)
	Você percebeu uma redução no tempo necessário para elaborar o quadro de cargas utilizando a aplicação? Informe a diferença de tempo:
	Como você avalia a confiabilidade dos resultados obtidos pela aplicação em comparação ao método manual? (escala de 5 níveis: pouco confiável a muito confiável)
Feedback geral quanto às funcionalidades do aplicativo	Você considera que o aplicativo seria útil no seu dia a dia profissional? Justifique: (resposta livre)
	Quais novas funcionalidades você sugere para serem acrescentadas ao aplicativo? (resposta livre)
	Deixe um comentário geral sobre a sua experiência com o aplicativo: (resposta livre)

4.3 Roteiro dos testes

A Tabela 5 apresenta o roteiro utilizado para a realização dos testes de usabilidade, estruturado de forma a possibilitar a comparação direta entre o processo manual e o automatizado por meio da aplicação desenvolvida. O objetivo é avaliar, tanto a eficiência (tempo gasto), quanto a acurácia (diferença entre resultados), além da percepção dos usuários quanto à usabilidade da aplicação.

Nesse contexto, cada participante iniciou o teste elaborando manualmente o quadro de cargas de um projeto elétrico, utilizando uma planta já definida, com pontos de carga previamente estabelecidos em cada ambiente. Em seguida, repetiu o procedimento utilizando a aplicação desenvolvida, passando pelas etapas de abertura, definição das potências unitárias e geração automática do quadro de cargas.

Após a obtenção dos dois resultados, foi realizada uma comparação entre o quadro manual e o automático, considerando a soma das diferenças de potência em cada circuito. Ressalta-se que a divisão dos circuitos seguiu a mesma lógica implementada na aplicação, padrão já utilizado pela empresa na qual os testes foram realizados, minimizando divergências.

Tabela 5 – Etapas do procedimento de elaboração do quadro de cargas

Etapa	Instruções
1	Elaborar manualmente o quadro de cargas do projeto fornecido, a partir dos pontos de carga já definidos na planta. Cronometrar o tempo necessário até a finalização do quadro.
2	Abrir a aplicação de geração automática de quadros de carga e iniciar a segunda cronometragem.
3	Preencher os campos referentes às potências unitárias dos pontos elétricos (luminárias, tomadas 10 A e tomadas 20 A).
4	Executar a geração automática do quadro de cargas utilizando a aplicação.
5	Comparar os resultados do quadro manual com o quadro gerado automaticamente pela aplicação, registrando as diferenças de potência em cada circuito (se houver).
6	Responder ao questionário de avaliação, fornecendo feedback quanto à usabilidade e aos resultados obtidos.

4.4 Materiais utilizados nos Testes

Os materiais desenvolvidos e utilizados para a realização dos testes de usabilidade da aplicação de geração automática do quadro de cargas são apresentados nas subseções a seguir.

4.4.1 Cenários de Testes

Com o intuito de verificar as funcionalidades da aplicação proposta, foi elaborada uma simulação baseada em quatro plantas baixas arquitetônicas genéricas de pavimentos residenciais. As plantas contém pontos elétricos previamente posicionados, como tomadas, pontos de iluminação e outros elementos característicos de projetos elétricos prediais.

Esses arquivos, utilizados como entrada pela aplicação, serviam de base para a execução dos testes pelos participantes. Além disso, foram incorporadas no mesmo documento, instruções resumidas com base no roteiro de testes apresentado na Tabela 5, permitindo que os usuários pudessem consultar o passo a passo sempre que necessário.

O cenário de testes foi preparado de forma a garantir que os participantes pudessem utilizar a aplicação em condições similares às encontradas em um processo real de elaboração de projetos, assegurando, assim, maior fidelidade e confiabilidade nos resultados obtidos.

4.4.2 Questionário pós Testes

Para coleta de feedback acerca da experiência dos participantes com a aplicação, foi desenvolvido um questionário pós-testes. Esse instrumento foi estruturado utilizando a plataforma Google Forms, facilitando, tanto o preenchimento pelos usuários, quanto a organização e análise das respostas.

As questões apresentadas aos participantes correspondem às mesmas listadas na Tabela 4, as quais abordam aspectos como facilidade de uso, eficiência, confiabilidade dos resultados, clareza da interface e aplicabilidade prática da solução.

A Figura 6 apresenta uma captura da página inicial do formulário elaborado. O questionário completo pode ser acessado, para fins de visualização, no seguinte endereço eletrônico: <https://forms.gle/nnjH3dZffHtF7bzz9>.

Figura 6 – Parte do formulário de teste

28/12/2025, 15:09 Teste de Utilização da Aplicação

Teste de Utilização da Aplicação


[Faça login no Google](#) para salvar o que você já preencheu. [Saiba mais](#)

* Indica uma pergunta obrigatória


Nome e Função (Formação) *

Sua resposta _____


Qual planta baixa foi utilizada *




Teste 1



Teste 2



Teste 3



Teste 4

[Pedir acesso de edição](#)

https://docs.google.com/forms/d/1581wGguvsn2iC8Y18UPFAArv14KtIwm3LqLwU38k/viewform?edit_requested=true#responses 1/5

Fonte: Autor

4.4.3 Coleta dos Dados

A coleta dos dados referentes aos testes foi realizada por meio do questionário pós-testes, disponibilizado na plataforma Google Forms. Após a execução das atividades descritas no roteiro de testes, cada participante respondeu ao formulário, fornecendo informações acerca da sua experiência com a aplicação.

Foram coletadas tanto respostas objetivas, estruturadas em múltipla escolha, quanto respostas abertas, permitindo maior liberdade para o participante expressar opiniões, sugestões e críticas relacionadas ao uso da aplicação. Esse formato possibilitou a obtenção de dados quantitativos e qualitativos, ampliando a abrangência da avaliação.

4.4.4 Análise dos Dados

A análise dos dados coletados foi conduzida com base nos objetivos previamente definidos para os testes de usabilidade, apresentados na seção 5.1.1. Para facilitar a interpretação e comparação dos resultados, as respostas foram organizadas conforme os critérios sugeridos por Rubin e Chisnell (2008, p. 254-267):

- Questões com respostas limitadas (como múltipla escolha ou escala de concordância) foram tratadas de forma quantitativa, somando-se as ocorrências de cada alternativa para identificar tendências de percepção entre os participantes;
- Questões com respostas abertas foram agrupadas de acordo com a similaridade das observações, permitindo a categorização em percepções positivas, negativas e sugestões de melhorias.

Essa abordagem garantiu que os dados fossem analisados, tanto em sua dimensão estatística, quanto interpretativa, oferecendo uma visão mais ampla da usabilidade e eficácia da aplicação.

4.4.5 Apresentação dos Dados

Os resultados obtidos a partir da análise dos questionários serão apresentados no Capítulo 5, onde são expostos de forma detalhada os principais resultados. Nessa etapa, os dados quantitativos são organizados em tabelas e gráficos que evidenciam as tendências gerais, enquanto os dados qualitativos são discutidos com base em exemplos representativos das respostas dos participantes. Essa forma de apresentação busca facilitar a compreensão dos resultados, destacando pontos fortes da aplicação e aspectos que demandam aprimoramento para futuras versões.

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os principais resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho. Primeiramente, são descritos os resultados do desenvolvimento da aplicação, destacando suas funcionalidades implementadas e o funcionamento do sistema. Em seguida, são apresentados os resultados dos testes de usabilidade, os quais evidenciam a experiência dos usuários e a eficiência da aplicação em comparação ao método manual.

5.1 Resultados do Desenvolvimento da Aplicação

O desenvolvimento da aplicação proposta neste trabalho resultou em uma ferramenta capaz de gerar automaticamente quadros de cargas elétricas a partir de informações extraídas de plantas baixas. A aplicação foi estruturada em módulos independentes, permitindo a integração de diferentes técnicas de processamento de imagem e inteligência artificial.

Entre os principais avanços obtidos, destacam-se:

- Implementação de duas redes neurais principais:
 - A primeira rede foi responsável pela segmentação e identificação dos cômodos presentes na planta baixa, atribuindo a cada ambiente um nome e suas respectivas dimensões;
 - A segunda rede foi treinada para identificar e quantificar os blocos elétricos (como pontos de iluminação, tomadas e cargas específicas) dentro de cada ambiente.
- Integração dos resultados das redes:

Os dados gerados por ambas as redes foram organizados de forma estruturada, possibilitando o cálculo de cargas e a divisão dos circuitos. Essa integração representou um dos pontos centrais do desenvolvimento, pois permitiu unir a interpretação gráfica da planta com a lógica de dimensionamento elétrico.
- Definição de regras de divisão de circuitos:

A aplicação incorporou uma lógica baseada no padrão utilizado pela empresa onde os testes foram realizados. Dessa forma, a atribuição de circuitos seguiu convenções pré-definidas, como por exemplo:

 - Circuito 1 = tomadas da cozinha;
 - Circuito 2 = tomadas área de serviço e banheiros;
 - Circuito 3 = tomadas da sala;
 - e assim por diante.

Essa padronização garantiu a consistência dos resultados e permitiu que os

quadros gerados automaticamente pela aplicação fossem comparados de forma justa aos elaborados manualmente.

- Interface gráfica simplificada:

Foi desenvolvida uma interface amigável, que permite ao usuário interagir com a aplicação de forma intuitiva. Nela, é possível:

- Abrir a planta baixa para análise;
- Definir as potências unitárias dos pontos a serem identificados;
- Executar o processo de geração automática do quadro de cargas;
- Exportar os resultados em formato compatível com planilhas.

- Exemplo de saída gerada:

Ao final da execução, a aplicação apresenta ao usuário um quadro de cargas completo, contendo a lista de circuitos, cargas associadas, potência total instalada, cabos e dispositivos de proteção a serem utilizados. Esses dados podem ser comparados diretamente a um quadro elaborado de forma manual, permitindo avaliar a precisão da solução.

5.1.1 Funcionamento da aplicação

O funcionamento da aplicação pode ser descrito como uma sequência de etapas que se inicia com a inserção dos dados pelo usuário e culmina na geração do quadro de cargas automático. O processo completo é apresentado a seguir, de forma detalhada:

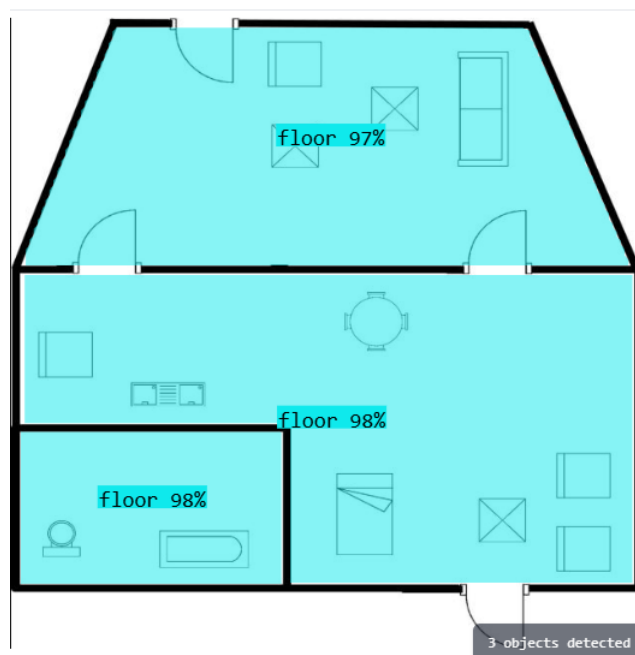
a) Entrada da planta baixa e definição das potências unitárias:

O primeiro passo consiste no fornecimento da planta baixa em formato de imagem, que servirá de base para o reconhecimento dos ambientes e pontos elétricos. Simultaneamente, o usuário deve informar as potências unitárias que serão adotadas no cálculo (ex.: 100 VA por tomada, 15 VA por ponto de iluminação). Essa configuração inicial garante que os cálculos resultem em valores alinhados com a realidade do projeto.

b) Segmentação e identificação dos cômodos:

Após a entrada dos dados, uma rede neural convolucional previamente treinada é utilizada para segmentar a planta baixa, identificando automaticamente os limites de cada cômodo e atribuindo a eles rótulos semânticos (ex.: sala, cozinha, banheiro). A Figura 7 exemplifica a atuação da RN01 na tarefa de segmentar os cômodos de uma planta baixa arquitetônica.

Figura 7 – Exemplo da segmentação dos cômodos



Fonte: Autor

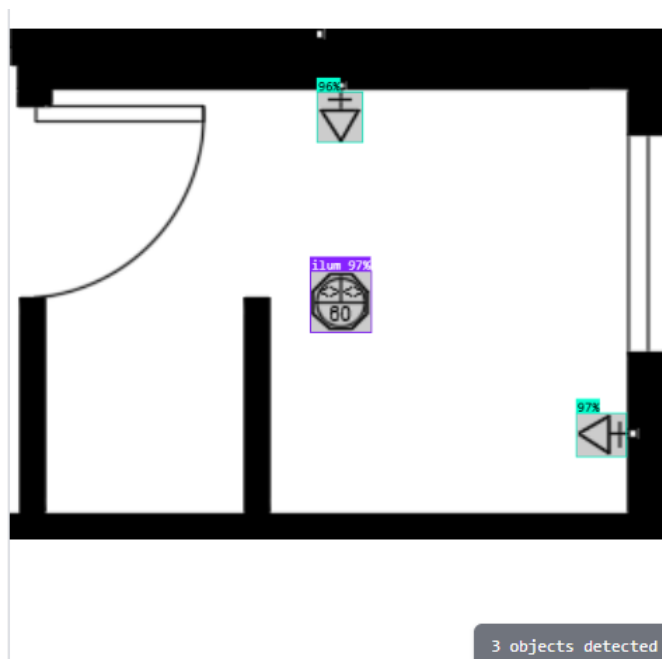
Observa-se que o modelo foi capaz de delimitar corretamente os ambientes da edificação, atribuindo a cada cômodo uma região bem definida e associando um nível de confiança elevado às detecções realizadas, com valores de 97% e 98%. O alto limiar de confiança atribuído às segmentações sugere que o modelo reconheceu padrões consistentes, reduzindo a probabilidade de erros na etapa seguinte do processamento.

A correta segmentação dos ambientes é um fator crítico para o funcionamento global da aplicação, pois todas as etapas posteriores, como a identificação dos pontos elétricos e a associação desses pontos a cada cômodo, dependem diretamente da precisão dessa delimitação. Dessa forma, os resultados apresentados nesta etapa são fundamentais para garantir a confiabilidade do quadro de cargas gerado automaticamente, evidenciando a adequação da Rede Neural 1 como base para o fluxo de processamento da aplicação.

c) Identificação dos pontos elétricos:

Na sequência, outra rede neural especializada em reconhecimento de objetos é empregada para identificar os blocos que representam pontos elétricos, tais como tomadas, interruptores e pontos de iluminação. Além da identificação, o sistema realiza a contagem da quantidade de elementos de cada tipo presente em cada ambiente. A Figura 8 apresenta um recorte ampliado de um dos cômodos da planta baixa, evidenciando a atuação da Rede Neural 2 na tarefa de identificação dos pontos elétricos.

Figura 8 – Exemplo da identificação dos pontos elétricos



Fonte: Autor

No exemplo ilustrado, o modelo reconheceu corretamente três elementos distintos: duas tomadas e uma luminária, todas com níveis de confiança elevados, variando entre 96% e 97%.

O uso do recorte ampliado permite destacar a precisão do modelo na distinção entre diferentes tipos de componentes elétricos, mesmo quando estes estão representados graficamente de forma simplificada, como ocorre com frequência em plantas arquitetônicas. A correta classificação entre tomadas e pontos de iluminação é um aspecto relevante, pois cada tipo de ponto possui impacto direto no cálculo das potências e, conseqüentemente, no dimensionamento dos circuitos do quadro de cargas.

Os altos valores de confiança observados indicam que a rede neural conseguiu identificar padrões visuais consistentes associados aos símbolos elétricos, reduzindo a possibilidade de classificações incorretas.

d) Associação entre cômodos e pontos elétricos:

Os resultados obtidos nas etapas de segmentação de cômodos e identificação de blocos são integrados. Dessa forma, cada ponto elétrico é vinculado ao seu respectivo ambiente, possibilitando a quantificação de cargas específicas por cômodo. Por exemplo: “Cozinha – 6 tomadas + 1 ponto de iluminação”.

e) Cálculo automático das cargas e divisão em circuitos:

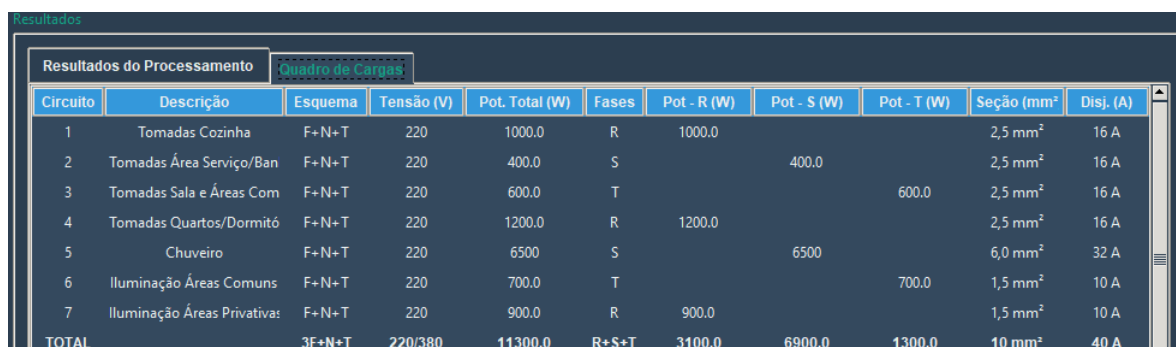
Com base nas potências unitárias informadas inicialmente, a aplicação calcula a carga total de cada ambiente e organiza os pontos em circuitos. A lógica de divisão segue um padrão definido previamente (igual ao padrão adotado pela empresa MK Engenharia onde os testes foram conduzidos), (ex.: Circuito 1 – tomadas da cozinha,

Circuito 2 – tomadas área de serviço e banheiros, etc.).

f) Exibição e exportação do quadro de cargas:

Por fim, o quadro de cargas consolidado é apresentado ao usuário em forma de tabela diretamente na interface da aplicação. Além da visualização imediata, o sistema oferece a possibilidade de exportação em formato compatível com planilhas, o que facilita a integração com os processos de projeto elétrico.

Figura 9 – Exemplo da exibição do quadro de cargas



Circuito	Descrição	Esquema	Tensão (V)	Pot. Total (W)	Fases	Pot - R (W)	Pot - S (W)	Pot - T (W)	Seção (mm ²)	Disj. (A)
1	Tomadas Cozinha	F+N+T	220	1000.0	R	1000.0			2,5 mm ²	16 A
2	Tomadas Área Serviço/Ban	F+N+T	220	400.0	S		400.0		2,5 mm ²	16 A
3	Tomadas Sala e Áreas Com	F+N+T	220	600.0	T			600.0	2,5 mm ²	16 A
4	Tomadas Quartos/Dormitó	F+N+T	220	1200.0	R	1200.0			2,5 mm ²	16 A
5	Chuveiro	F+N+T	220	6500	S		6500		6,0 mm ²	32 A
6	Iluminação Áreas Comuns	F+N+T	220	700.0	T			700.0	1,5 mm ²	10 A
7	Iluminação Áreas Privativas	F+N+T	220	900.0	R	900.0			1,5 mm ²	10 A
TOTAL		3F+N+T	220/380	11300.0	R+S+T	3100.0	6900.0	1300.0	10 mm ²	40 A

Fonte: Autor

Em resumo, a aplicação conduz o usuário por um fluxo simplificado: inserir a planta baixa, definir as potências unitárias e acionar a execução do processamento. A partir daí, as etapas de segmentação, identificação, associação e cálculo são automatizadas, entregando como resultado final um quadro de cargas completo e pronto para utilização em projetos executivos, conforme mostrado na Figura 9.

5.2 Resultados dos Testes de Utilização

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da execução do roteiro de testes definido no Capítulo 5, no qual os participantes desenvolveram quadros de cargas manualmente e, em seguida, utilizando a aplicação proposta. O objetivo principal foi avaliar a eficiência, a precisão e a percepção de usabilidade da ferramenta, permitindo uma comparação direta entre o método tradicional e a abordagem automatizada.

Os resultados estão organizados em três frentes de análise: (i) tempo de execução, destacando os ganhos de produtividade proporcionados pela aplicação; (ii) precisão dos resultados, considerando a proximidade entre os quadros manuais e os gerados automaticamente; e (iii) avaliação dos usuários, baseada no questionário pós-teste, que reúne impressões sobre a facilidade de uso, confiabilidade e potencial de aplicação prática da ferramenta.

5.2.1 Tempo de Execução

Um dos principais objetivos dos testes foi avaliar o ganho de produtividade proporcionado pela aplicação em comparação ao método manual de elaboração do quadro de cargas. Para isso, cada participante elaborou inicialmente o quadro de cargas de forma manual, utilizando um software de planilhas eletrônicas, e posteriormente repetiu a tarefa com a aplicação desenvolvida. Em ambos os casos, o tempo total de execução foi cronometrado desde o início até a finalização do quadro.

Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do Teste de Utilização - Tempo

Participante	Método Manual (min)	Aplicação (min)	Redução (%)
Eng. Civil (projetista)	17	2	88
Eng. Eletricista em formação (projetista)	15	2	86
Eng. Eletricista (projetista em formação)	15	2	86
Estagiário de Engenharia Elétrica	18	2	81
Média	16,25	2	≈87

Observa-se que, em todos os casos, a aplicação reduziu de forma significativa o tempo necessário para elaboração do quadro de cargas, passando de uma média de 16,25 minutos no método manual para apenas 2 minutos com a utilização da ferramenta. Essa diferença representa uma economia de aproximadamente 87% no tempo total de execução, evidenciando o impacto da automatização no processo de projeto.

5.2.2 Precisão dos Resultados

Além da análise do tempo de execução, foi avaliada a precisão dos resultados obtidos com a aplicação em comparação ao método manual. O objetivo dessa etapa foi verificar se os quadros de cargas gerados automaticamente apresentavam consistência em relação aos elaborados manualmente, considerando, tanto a soma das potências, quanto a distribuição dos circuitos.

A comparação dos resultados revelou que a diferença média entre a potência total dos quadros foi inferior a 2%, valor considerado desprezível para fins de projeto.

Em relação à distribuição dos circuitos, observou-se que a aplicação respeitou corretamente os critérios básicos de agrupamento definidos (ex.: circuitos de iluminação separados de tomadas, tomadas de cozinha e áreas de serviço segregadas, etc.).

De maneira geral, pode-se afirmar que os quadros de cargas gerados pela aplicação apresentaram elevada precisão quando comparados ao método manual. Conforme apresentado na Tabela 7, em duas das quatro avaliações realizadas (correspondentes ao Engenheiro Eletricista em formação (projetista) e ao Estagiário de Engenharia Elétrica) não foi observada qualquer diferença entre a potência total calculada manualmente e a obtida pela aplicação, resultando em erro absoluto igual a zero.

Nas demais avaliações, referentes ao Engenheiro Civil (projetista) e ao Engenheiro Eletricista (projetista em formação), a diferença total de potência observada foi de 100 W em cada caso, o que representa um erro percentual igual ou inferior a 1%. Considerando todas as avaliações, o erro médio absoluto foi de 50 W, valor pouco significativo frente às potências totais analisadas, que variaram entre 9.400 W e 11.300 W.

Esses resultados indicam que as divergências observadas são pontuais e não comprometem o dimensionamento global do quadro de cargas, estando dentro de margens aceitáveis para projetos de instalações elétricas residenciais. Assim, os dados reforçam a confiabilidade da aplicação proposta, demonstrando que o método automatizado é capaz de reproduzir, com elevada fidelidade, os resultados obtidos por meio do procedimento manual tradicional.

Os valores detalhados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Diferença total de potência entre o método manual e a aplicação

Participante	Pot. Total (W)	Diferença Total de Pot. (W)	Diferença Total de Pot. (%)
Eng. Civil (projetista)	11300	100	< 1
Eng. Eletricista em formação (projetista)	9700	0	0
Eng. Eletricista (projetista em formação)	10000	100	1
Estagiário de Engenharia Elétrica	9400	0	0
Total			0.49%

5.2.3 Avaliação dos Usuários

A avaliação dos usuários sobre a aplicação foi realizada a partir das respostas ao questionário pós-testes, que incluiu questões qualitativas, perguntas de sim/não e escalas de facilidade de uso. Os resultados obtidos foram agrupados de acordo com os aspectos mais relevantes identificados nas respostas.

Facilidade de uso:

Os participantes relataram que a aplicação apresenta uma interface simples e intuitiva, permitindo rápida adaptação. Segundo os avaliadores:

- A definição inicial das potências unitárias foi considerada de fácil compreensão;
- A inserção da planta baixa e a execução da geração automática do quadro foram descritas como processos rápidos e claros;
- O fluxo de uso reduziu significativamente a necessidade de consultas externas ou de suporte.

Produtividade:

Com relação à comparação entre o método manual e a aplicação, os participantes destacaram:

- Redução significativa do tempo total de execução;
- Eliminação de etapas repetitivas, como cálculos manuais de potência e organização de circuitos;
- Maior confiança na consistência dos resultados, uma vez que o processo automatizado minimiza erros humanos.

Confiabilidade dos resultados:

Na questão de sim/não sobre a confiabilidade do quadro gerado, todos os participantes responderam positivamente, mencionando que os resultados mantêm coerência com os padrões utilizados pela empresa. Ainda, a divisão automática dos circuitos foi considerada adequada à metodologia de projeto.

Sugestões de melhoria:

Entre as respostas abertas, algumas contribuições foram registradas, como:

- Possibilidade de editar manualmente a divisão de circuitos após a geração automática;
- Pré-visualização dos pontos elétricos identificados antes de gerar o quadro de cargas para validação.

De forma geral, os usuários consideraram a aplicação eficiente, confiável e de fácil utilização, destacando ganhos de produtividade e precisão. As sugestões levantadas representam pontos de evolução importantes, que poderão ser considerados em trabalhos futuros.

5.3 Resultados Obtidos com o Desenvolvimento da Aplicação

O desenvolvimento da aplicação resultou em uma ferramenta funcional capaz de automatizar a elaboração do quadro de cargas de projetos elétricos prediais, a partir da interpretação de plantas baixas arquitetônicas. Entre os principais resultados alcançados, destacam-se:

- Automação da etapa de quantificação de cargas: a aplicação elimina a necessidade de contagem manual de pontos e cálculo individualizado por ambiente,

reduzindo significativamente o tempo gasto nesta fase do projeto.

- Reconhecimento eficiente de cômodos e pontos elétricos: a utilização de redes neurais especializadas possibilitou a identificação confiável dos ambientes e dos blocos elétricos presentes nas plantas, garantindo a associação correta entre cargas e cômodos.
- Interface simplificada e objetiva: o aplicativo foi estruturado para que o usuário execute o processo em 3 etapas, à saber: inserir a planta, definir as potências unitárias e gerar automaticamente o quadro. Essa simplicidade reduz a curva de aprendizado e amplia a usabilidade.
- Exportação em formato compatível com planilhas: além da visualização imediata dos resultados, o sistema permite exportar o quadro de cargas para o formato de planilha, integrando-se facilmente às ferramentas utilizadas pelos projetistas no dia a dia.
- Acurácia compatível com métodos manuais: os resultados obtidos demonstraram coerência com os cálculos realizados manualmente por profissionais da área, respeitando a lógica de divisão de circuitos padronizada na empresa em que os testes foram realizados.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início deste trabalho de conclusão de curso, foi constatado que o processo de elaboração de projetos elétricos residenciais, em especial a construção do quadro de cargas, pode ser demorado e suscetível a erros humanos, impactando diretamente a eficiência e a qualidade do projeto. Diante disso, definiu-se como objetivo principal o desenvolvimento de uma aplicação capaz de automatizar a geração do quadro de cargas, reduzindo o tempo de execução e aumentando a confiabilidade dos resultados.

Com base nos objetivos específicos definidos, verificou-se que todos foram alcançados de forma satisfatória. A aplicação desenvolvida demonstrou ser capaz de receber uma planta baixa, identificar os cômodos presentes, contabilizar automaticamente os pontos de carga, aplicar as potências unitárias definidas pelo usuário e, por fim, gerar de forma estruturada o quadro de cargas. Esse processo foi validado por meio dos testes de tempo de execução, precisão dos resultados e avaliação dos usuários, e consolidado pelos resultados apresentados.

No que diz respeito à produtividade, os testes de usabilidade evidenciaram uma redução significativa no tempo de elaboração do quadro de cargas quando comparado ao método manual, ao mesmo tempo em que mantiveram a precisão necessária para atender ao padrão adotado pela empresa MK Engenharia em que os testes foram realizados. Além disso, o feedback dos usuários confirmou a facilidade de uso da ferramenta, destacando sua interface simples e intuitiva, bem como a confiabilidade dos resultados gerados.

Dessa forma, conclui-se que o problema inicial, a dificuldade e morosidade na elaboração do quadro de cargas, foi mitigado de maneira efetiva pela aplicação proposta. Mais do que um ganho de produtividade, a solução apresentou também ganhos em padronização e confiabilidade, reforçando a importância da integração de ferramentas computacionais no processo de desenvolvimento de projetos elétricos.

6.1 Diretivas para trabalhos futuros

Considerando ainda a natureza do problema enfrentado, vislumbra-se que a abordagem apresentada neste trabalho pode ser estendida para outras áreas do setor da construção civil, como o desenvolvimento de projetos hidrossanitários, preventivos e de automação predial, ampliando o impacto da automação e da inteligência artificial no campo das engenharias.

Embora algumas sugestões de melhorias tenham sido levantadas, como a possibilidade de ajustes manuais na divisão dos circuitos após a geração automática e a inclusão de relatórios comparativos, tais pontos não comprometem o desempenho

atual da aplicação. Pelo contrário, representam oportunidades para evoluções futuras. Como por exemplo:

Ampliar os blocos identificados e gerar uma lista de materiais automática a partir dos pontos identificados.

REFERÊNCIAS

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

CAIXETA, Matheus Simão; MOCOCA, Fatec; PRADO, Sandra Cristina Costa. **Reconhecimento óptico de caracteres e transcrição de textos manuscritos**. [S. l.: s. n.].

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações elétricas prediais**. São Paulo: Érica, 1998.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CUNHA, Leonardo Cardoso da. **Redes neurais convolucionais e segmentação de imagens: uma revisão bibliográfica**. [S. l.: s. n.], 2020.

DE MILANO, Danilo; HONORATO, Luciano Barrozo. **Visão computacional**. [S. l.: s. n.], 2014.

FARIAS, Walisson Nascimento de *et al.* **Aperfeiçoando o reconhecimento óptico de caracteres em imagens de documentos pessoais**. [S. l.: s. n.], 2023.

GOMES, Matheus D'Amaral. **Plugin de AutoCAD para automatização de etapas do desenvolvimento de projetos de instalações elétricas**. [S. l.: s. n.], 2022.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning**. [S. l.]: MIT Press, 2016.

HAYKIN, Simon S. **Neural Networks and Learning Machines**. [S. l.]: Pearson, 2009.

JÚNIOR, Roberto de Carvalho. **Instalações elétricas e o projeto de arquitetura**. [S. l.: s. n.], 2015.

LIMA FILHO, D. L. **Projetos de instalações elétricas prediais**. 12. ed. São Paulo: Érica, 2011.

LIU, Chang; WU, Jin; KOSEOGLU, Murat. Raster-to-vector: Revisiting floorplan transformation. *In: PROCEEDINGS of the IEEE International Conference on Computer Vision*. [S. l.: s. n.], 2017.

MARENGONI, Maurício; STRINGHINI, Stringhini. Introdução à visão computacional usando OpenCV. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, v. 16, n. 1, p. 125–160, 2009.

MELL, Peter; GRANCE, Timothy. **The NIST Definition of Cloud Computing**. [S. l.], 2011.

MK ENGENHARIA. **Escritório de engenharia**. [S. l.: s. n.], 2025. Disponível em: <https://mkengenharia.eng.br/>.

MUHAMMAD, H. YOLO-v1 to YOLO-v8: the rise of YOLO and its complementary nature toward digital manufacturing and industrial defect detection. **Machines**, 2023.

NEVES, Samuel Clayton Maciel; PELAES, Evaldo Gonçalves. Estudo e implementação de técnicas de segmentação de imagens. **Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA**, v. 1, n. 2, p. 1–11, 2001.

PIZARRO, Pablo N. *et al.* Automatic floor plan analysis and recognition. **Automation in Construction**, v. 140, p. 104348, 2022.

RAUBER, Thomas Walter. **Redes neurais artificiais**. [S. l.: s. n.], 2005.

REDMON, Joseph; FARHADI, Ali. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *In*: PROCEEDINGS of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.: s. n.], 2016.

ROBOFLOW. **Roboflow Documentation: Computer Vision Model Training and Deployment**. [S. l.: s. n.], 2025. Disponível em: <https://docs.roboflow.com>.

RUBIN, Jeffrey; CHISNELL, Dana. **Handbook of Usability Testing**. 2. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2008.

SANTOS, Davi Pereira dos. **Seleção de características: abordagem via redes neurais aplicada à segmentação de imagens**. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

SILVA, Rodrigo Emerson Valentim da. **Um estudo comparativo entre redes neurais convolucionais para a classificação de imagens**. [S. l.: s. n.], 2018.

SZELISKI, Richard. **Computer Vision: Algorithms and Applications**. London: Springer, 2010.

SZELISKI, Richard. **Computer Vision: Algorithms and Applications**. 2. ed. [S. l.]: Springer, 2022.

VARGAS, Ana Caroline Gomes; PAES, Aline; VASCONCELOS, Cristina Nader. Um estudo sobre redes neurais convolucionais e sua aplicação em detecção de pedestres. *In: CONFERENCE on Graphics, Patterns and Images*. [S. l.: s. n.], 2016.

ZENG, Zhiliang *et al.* Deep floor plan recognition using a multi-task network with room-boundary-guided attention. *In: PROCEEDINGS of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. [S. l.: s. n.], 2019. p. 9096–9104.