



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CAIO AUGUSTO CHAVES
MATHEUS GOMES ARRUDA**

**METODOLOGIA BIM E REALIDADE AUMENTADA PARA A VISUALIZAÇÃO
DE QUADROS DE COMANDOS ELÉTRICOS**

**PALMAS - TO
2024**

**CAIO AUGUSTO CHAVES
MATHEUS GOMES ARRUDA**

**METODOLOGIA BIM E REALIDADE AUMENTADA PARA A VISUALIZAÇÃO
DE QUADROS DE COMANDOS ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Dr. Márcio Augusto Tamashiro

PALMAS - TO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- C512m Chaves, Caio Augusto
 Metodologia BIM e realidade aumentada para a visualização de quadros de comandos elétricos / Caio Augusto Chaves, Matheus Gomes Arruda. – PALMAS, TO, 2024.
 83 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, PALMAS, TO, 2024.
- Orientador: Dr. Márcio Augusto Tamashiro
1. modelagem BIM. 2. realidade aumentada. 3. quadros de comando. I. Arruda, Matheus Gomes. II. Tamashiro, Márcio Augusto III. , . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CAIO AUGUSTO CHAVES
MATHEUS GOMES ARRUDA

**METODOLOGIA BIM E REALIDADE AUMENTADA PARA A VISUALIZAÇÃO
DE QUADROS DE COMANDOS ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Aprovado em: 18 / 09 / 2024 .

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO AUGUSTO TAMASHIRO**
Data: 27/09/2024 16:15:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Márcio Augusto Tamashiro (Orientador)
IFTO – Campus Palmas

Documento assinado digitalmente
 **KAISSON TEODORO DE SOUZA**
Data: 27/09/2024 16:51:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Kaisson Teodoro de Souza
IFTO – Campus Palmas

Documento assinado digitalmente
 **RENATO LUIZ DE ARAUJO JUNIOR**
Data: 27/09/2024 16:18:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Renato Luiz de Araújo Junior
IFTO – Campus Palmas

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por sua proteção plena e incondicional, nos dando força para vencer todos os desafios durante o desenvolvimento do curso de engenharia elétrica.

Agradecemos à **nossa família** pelo apoio integral ao longo desta jornada. Sua compreensão, paciência e encorajamento foram fundamentais para que pudéssemos enfrentar os desafios e conquistar esta etapa. Sem o suporte emocional e a motivação que recebemos de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Um agradecimento especial ao nosso orientador, o professor Dr. **Márcio Augusto Tamashiro**, pela sua orientação, conselhos, ensinamentos e confiança no sucesso deste trabalho. Suas valiosas contribuições, feedback construtivo e suporte constante foram essenciais para a conclusão deste trabalho. Somos profundamente gratos pelo tempo e esforço investidos em nosso desenvolvimento acadêmico.

Agradecemos também aos nossos mentores acadêmicos, o prof. Dr. **Marcelo Mendes Pedroza** e a prof^ª. Dra. **Elaine da Cunha Silva Paz**, pelas contribuições e oportunidades de crescimento acadêmico na área da iniciação científica durante todo o período de formação. Muito obrigado pelos conselhos, pela amizade e por serem fonte de inspiração acadêmica.

Agradecemos também ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas**, por oferecer um ambiente acadêmico tão enriquecedor. A qualidade do ensino, a infraestrutura e o corpo docente contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho e para nossa formação pessoal e profissional.

Aos **amigos e professores** que nos ajudaram a tornar possível mais este sonho.

Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão **a todos** que contribuíram, direta ou indiretamente, para que fosse possível a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

ARRUDA, M.G., CHAVES, C.A. (2024). **Metodologia BIM e realidade aumentada para a visualização de quadros de comandos elétricos**. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, Bacharelado em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas, Palmas, 84p. 2024.

RESUMO

Baseado no contexto atual da modernização das tecnologias e das formas de ensino na engenharia, assim como na crescente utilização da metodologia BIM, o presente projeto busca realizar a criação de uma biblioteca de componentes 3D da área elétrica em BIM, bem como também propor uma metodologia aplicada à modelagem de quadros de comando e força para visualização em ambientes de realidade aumentada, objetivando propor uma experiência imersiva como ferramenta de ensino e de auxílio aos projetos de engenharia. O processo de modelagem e criação dos objetos da biblioteca foi feito com o programa Blender, aplicativo gratuito e disponível à maioria das plataformas usuais. Para a criação do aplicativo de realidade aumentada, foi utilizada a plataforma Unity em conjunto com o complemento Vuforia. O desenvolvimento do trabalho foi dividido em três etapas: modelagem dos componentes elétricos, montagem de um quadro de comandos a partir dos componentes elétricos modelados e, por fim, a integração do modelo tridimensional do quadro modelado em um ambiente de realidade aumentada para dispositivos Android. Após a realização das etapas de desenvolvimento, foi possível atestar a viabilidade técnica da utilização dos programas para realização metodologia proposta no presente trabalho. O modelo 3D do quadro, bem como a aplicação do quadro de comandos no ambiente de realidade aumentada ocorreu conforme esperado, sendo possível a indicação do uso dessa ferramenta para diversas finalidades como: ensino didático, auxílio na execução de projetos, controle de manutenção e vistoria de quadros elétricos, treinamentos de operadores e equipes, aumento no nível de detalhamento dos projetos de instalações elétricas e facilidade nos processos reais de montagem desse tipo de produto.

Palavras-chave: modelagem 3D, modelagem BIM, realidade aumentada, quadros de força, projetos elétricos.

ABSTRACT

Based on the current context of technological modernization and evolving teaching methods in engineering, as well as the increasing use of the BIM methodology, this project aims to create a 3D component library for the electrical field in BIM. It also proposes a methodology applied to the modeling of control and power panels for visualization in augmented reality environments, with the goal of providing an immersive experience as a teaching tool and a support mechanism for engineering projects. The process of modeling and creating the library objects was carried out using Blender, a free software available on most common platforms. For the development of the augmented reality application, the Unity platform was used in conjunction with the Vuforia plugin. The work development was divided into three stages: modeling of electrical components, assembly of a control panel using the modeled electrical components, and finally, the integration of the 3D model of the control panel into an augmented reality environment for Android devices. After completing the development stages, the technical feasibility of using the software tools to implement the methodology proposed in this project was verified. The 3D model of the panel, as well as the application of the control panel in the augmented reality environment, performed as expected. This tool can be recommended for various purposes, such as educational teaching, project execution assistance, maintenance control and inspection of electrical panels, operator and team training, increasing the level of detail in electrical installation projects, and facilitating real-world assembly processes for this type of product.

Keywords: augmented reality, BIM modeling, switchboards, 3D, electrical projects.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – As dimensões do BIM.....	20
Figura 2 – Fases de implantação do BIM no Brasil	22
Figura 3 – Partes da ABNT NBR 15965	23
Figura 4 – Mapeamento da maturidade BIM no Brasil.....	24
Figura 5 – Exemplo de objetos paramétricos com atributos fixos, atributos que permitem alterações parciais e que permitem alterações totais.	25
Figura 6 – Interface inicial do 3D Builder 4.1.....	28
Figura 7 – Continuum Realidade-Virtualidade	30
Figura 8 – Fluxograma simplificado da modelagem das peças.....	32
Figura 9 – Quadro QD-GESEE. (a): vista frontal c/ tampa fechada. (b) vista frontal c/ tampa aberta.	36
Figura 10 – Diagrama de fluxo dos dados do subsistema em realidade aumentada	37
Figura 11 – 2C823800000000_CoindIFTO_MiniDisjuntorDIN_Monopolar_XA.....	40
Figura 12 – 2C823800000000_CoindIFTO_MiniDisjuntorDIN_Bipolar_XA	41
Figura 13 – 2C823800000000_CoindIFTO_MiniDisjuntorDIN_Tripolar_XA	41
Figura 14 – 2C823800000000_CoindIFTO_DisjuntorCaixaMoldada_Tripolar_XA.....	42
Figura 15 – 2C825600000000_CoindIFTO_DispositivoDR_Bipolar_XA	43
Figura 16 – 2C825600000000_CoindIFTO_DispositivoDR_Tripolar_XA	43
Figura 17 – 2C825600000000_CoindIFTO_DispositivoDR_Tetrapolar_XA.....	44
Figura 18 – 2C825614000000_CoindIFTO_DPS_Monopolar_XkA	44
Figura 19 – 2C825614000000_CoindIFTO_DPS_Bipolar_XkA	45
Figura 20 – 2C824800000000_CoindIFTO_Contator_Potência_XA.....	45
Figura 21 – 2C824800000000_CoindIFTO_Contator_PotênciaEAuxiliares_XA.....	46
Figura 22 – 2C825200000000_CoindIFTO_Botoeiras_Impulso_Vermelha	46
Figura 23 – 2C825200000000_CoindIFTO_Botoeiras_Impulso_Verde	47
Figura 24 – 2C827210000000_CoindIFTO_Sinalizador_LED_Verde.....	47
Figura 25 – 2C825200000000_CoindIFTO_ChaveSeletora_3posicoes_NA	48
Figura 26 – 2C824406000000_CoindIFTO_Conector_Passagem_VerdeAmarelo	49
Figura 27 – 2C824406000000_CoindIFTO_Conector_Banana_Vermelho.....	49
Figura 28 – 2C921406000000_CoindIFTO_Trilho_DIN_Xcm	50
Figura 29 – 2C824430100000_CoindIFTO_Canaleta_PVC_Xcm.....	50

Figura 30 – 2C824046060000_CoindIFTO_Barramento_Pente_8espacos	51
Figura 31 – 2C824046060000_CoindIFTO_Barramento3F_EspinhaPeixe_24espacos	51
Figura 32 – 2C824046060000_CoindIFTO_Barramento_Neutro_9espacos	52
Figura 33 – 2C824038020000_CoindIFTO_QuadroMetálico_Sobrepôr_303020cm	52
Figura 34 – QD-GESEE finalizado.	54
Figura 35 – QD-GESEE sendo projetado no ambiente de realidade aumentada	55
Figura 36 – Exibição dos balões flutuantes para informações	56
Figura 37 – Várias vistas do QD-GESEE em RA	57
Figura 38 – Utilização do APK desenvolvido	58
Figura 39 – Imagem de referência.....	67
Figura 40 – Adicionando imagens de referência	68
Figura 41 – Cópia de imagem de referência.....	69
Figura 42 – Perspectivas para modelagem	69
Figura 43 – Adicionando forma similar ao objeto.....	70
Figura 44 – Ajuste da face frontal do cubo	71
Figura 45 – Vista dos planos de referência	72
Figura 46 – Ajustes após criação de <i>loops</i>	72
Figura 47 – Objeto após extrusão	73
Figura 48 – Forma do objeto após ajustes	74
Figura 49 – Abrindo modo de edição de objeto	75
Figura 50 – Seleção de vértices de interesse	76
Figura 51 – Resultado do processo.....	76
Figura 52 – Acessando editor de sombreadores	77
Figura 53 – Sinalizador LED azul.....	78
Figura 54 – Modelo BIM de montagem do QGBT com as peças da biblioteca	79
Figura 55 – Utilização do código associado ao QD-GESEE	81
Figura 56 – Parametrização da rotina de ajuste de rotação e posição das TAG's.....	82
Figura 57 – Interface inicial da biblioteca.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes de interesse para a modelagem.	33
Tabela 2 – Códigos dos componentes modelados em BIM (NBR 15965-4).	39
Tabela 3 – Componentes utilizados para montagem do QD-GESEE	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D – bidimensional

3D – tridimensional

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – Building Information Modeling

CAD – Computer Aided Design

DPCC – Dispositivo de proteção contra curtos-circuitos

DPS – Dispositivo de proteção contra surtos

DR – Dispositivo de proteção a corrente diferencial-residual

DXF – Drawing eXchange Format

IEC – International Electrotechnical Commission

IFC – Industry Foundation Classes

IGES – Initial Graphics Exchange Specification

NBR – Norma Brasileira

QD – Quadro de Distribuição

RA – Realidade Aumentada

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Problemática.....	15
1.2. Hipótese.....	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo Geral.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.4. Justificativa	16
1.5. Estrutura do Trabalho.....	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. História do Desenho Técnico no Brasil.....	18
2.2. Sobre o BIM.....	19
2.2.1. BIM no Brasil	22
2.2.2. Componentes BIM.....	24
2.2.3. A interoperabilidade e o formato IFC.....	26
2.2.4. Ferramentas BIM.....	27
2.3. Blender	27
2.3.1. BlenderBIM.....	28
2.4. Realidade Aumentada.....	29
3. RECURSOS METODOLÓGICOS	32
3.1. Modelagem e Criação da Biblioteca de Famílias de Componentes em BIM	32
3.1.1. Levantamento de informações dos componentes	33
3.1.2. Etapa do conceito primitivo	34
3.1.3. Etapa da extração	34
3.1.4. Etapa do detalhamento	34

3.1.5. Etapa da documentação	35
3.2. Montagem do modelo do Quadro de Comandos Elétricos (QD-GESEE)	36
3.3. QD-GESEE em Realidade Aumentada	37
4. MODELAGEM DA BIBLIOTECA	39
4.1. Biblioteca de Famílias de Componentes em BIM.....	39
4.1.1. Minidisjuntor DIN	40
4.1.2. Disjuntor em caixa moldada	42
4.1.3. Dispositivo diferencial-residual DIN.....	42
4.1.4. Dispositivo de proteção contra surtos DIN.....	44
4.1.5. Contator de potência e auxiliares.....	45
4.1.6. Botões	46
4.1.7. Sinais LED.....	47
4.1.8. Chave seletora.....	48
4.1.9. <i>Bornas</i> de conexão	48
4.1.10. Trilha DIN.....	50
4.1.11. Canaleta de PVC	50
4.1.12. Barramentos de cobre.....	51
4.1.13. Quadros de distribuição.....	52
4.2. Quadro QD-GESEE	53
5. REALIDADE AUMENTADA COM O QD-GESEE.....	55
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
6.1. Sugestões para temas futuros	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE A – TUTORIAL BÁSICO PARA MODELAGEM DE COMPONENTES	67
APÊNDICE B – TUTORIAL BÁSICO PARA ALTERAÇÃO DE PARÂMETROS DAS	
PEÇAS DA BIBLIOTECA.....	75

APÊNDICE C – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA BIBLIOTECA PARA MONTAGEM DE QGBT	79
APÊNDICE D – SCRIPT DESENVOLVIDO PARA CONTROLAR A VISIBILIDADE DAS TAG’S DO QUADRO QD-GESEE.	80
APÊNDICE E – NAVEGAÇÃO PELA BIBLIOTECA DE COMPONENTES ELÉTRICOS EM BIM	83

1. INTRODUÇÃO

No contexto contemporâneo, em que a tecnologia é atualizada a cada instante, profissionais das mais variadas áreas são obrigados a se adaptarem a fim de se manter no mercado de trabalho (VAN-BEURDEN et al., 2024). No setor de projetos de engenharia por exemplo, novas técnicas, formas e ferramentas de se representar o espaço à nossa volta são constantemente melhoradas, tal como vem ocorrendo com o crescimento do uso do BIM em detrimento da plataforma CAD convencional (PAN et al., 2024).

O Building Information Modeling (BIM) é uma tecnologia que possibilita a criação de um modelo virtual detalhado de um edifício antes mesmo de sua construção, abrangendo informações sobre a arquitetura, estrutura, instalações e análises. Ao contrário da tecnologia CAD convencional, que se limita à representação gráfica por meio de linhas, o BIM vai além, gerando informações que alimentam todo o processo de gestão, desde a concepção até a conclusão de um projeto (PAN et al., 2024; ABBAS, DIN & FAROOQUI, 2016).

Ainda no contexto dos avanços tecnológicos, é importante destacar a atual situação das exposições de conteúdos nas instituições de ensino, que, em geral, enfrentam desafios ao aproveitar plenamente esses avanços para aprimorar o processo de ensino em sala de aula. Embora as tecnologias tenham evoluído significativamente, muitas instituições ainda se deparam com dificuldades na integração efetiva dessas inovações em sua abordagem educacional. Mesmo que existam exceções, a maioria dos centros de ensino ainda não conseguem explorar todo o potencial dessas ferramentas para criar experiências de aprendizado mais cativantes aos alunos (FARIAS, 2019).

De acordo com os dados apresentados por Sobrinho-Junior & Mesquita (2023), em sua pesquisa sobre a utilização de tecnologias digitais como material de recurso didático em ambientes de ensino, foi destacado pelos pesquisadores que, dentre as tecnologias existentes, a realidade aumentada (RA) é a mais promissora no quesito integração entre o virtual e o real. Para os pesquisadores, o uso dos recursos da realidade aumentada permeiam as diversas áreas de aplicação, sendo destaque no campo da engenharia, da publicidade, da educação, da medicina, da arquitetura e das mídias.

Em estudos recentes visando a aplicação da RA na área da engenharia, destaca-se o trabalho realizado por Aureliano-Júnior (2019), no qual por meio da integração entre modelos BIM e a tecnologia de RA, criou uma aplicação para dispositivos móveis que tem por objetivo propor uma alternativa à visualização de equipamentos de subestações de energia e suas informações integradas ao modelo BIM. A relevância do trabalho realizado pelo pesquisador é

demonstrada não somente pelo desenvolvimento de um programa que integra duas tecnologias em ascensão, mas também devido as possibilidades de aplicações decorrentes da metodologia proposta.

De maneira similar, Silva et al., (2020) apresenta uma estratégia baseada em técnicas de realidade virtual para monitoramento e controle de subestações de energia elétrica da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). O projeto desenvolvido por Silva et al., cria um ambiente virtual 3D interativo e realista com o objetivo de minimizar erros operacionais causados pela falta de informações espaciais e funcionais nos sistemas tradicionais. Além disso, a ferramenta de monitoramento desenvolvida é utilizada para treinamentos e simulações de cenários operacionais, sem que comprometam a segurança da subestação.

Por outro lado, Carvalho et al., (2021) se propuseram a produzir um aplicativo empregando a tecnologia de RA como forma de melhorar e apresentar uma alternativa aos atuais processos de ensino e aprendizagem na área da engenharia de produção e engenharia mecânica. Para modelagem e criação dos executáveis para dispositivos móveis, os pesquisadores empregaram o uso do Blender 3D e do Unity-Vuforia, respectivamente. O modelo tridimensional desenvolvido por Carvalho et al., consistiu em um veículo *off road* (BAJA), pelo qual através da aplicação desenvolvida se tornava possível a montagem e desmontagem do veículo. Ao fim da pesquisa, os pesquisadores ressaltaram a eficiência do modelo e a receptividade por parte do público alvo, demonstrando retornos significativos no aproveitamento do ensino aos discentes.

Dessa forma, com o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), observam-se mudanças e progressos gradativos nos métodos tradicionais de ensino. A utilização dessas tecnologias, tais como RA e modelagem BIM, tem promovido um aprendizado mais sólido, alterando a maneira como os conteúdos são transmitidos entre docentes e discentes em uma instituição de ensino (LOPES et al., 2019).

Portanto, a elaboração de projetos de ensino e pesquisa que visam integrar as tecnologias avançadas às práticas educacionais em sala de aula é de suma importância, tanto em âmbito regional quanto global. Tendo em vista que iniciativas como essa são essenciais para acompanhar o ritmo acelerado das inovações tecnológicas e garantir que os acadêmicos estejam preparados para enfrentar os desafios do mundo moderno.

1.1. Problemática

Em diversas situações, as instituições de ensino demonstram uma falta de alinhamento com o nível de tecnologias empregadas por parte dos alunos, permanecendo à parte da realidade tecnológica que os estudantes vivenciam fora do ambiente escolar, podendo resultar na desmotivação dos alunos, uma vez que a explicação de temas complexos se torna menos eficaz e envolvente (LOPES et al., 2019).

Da mesma forma, a falta de visualização prática representa um desafio significativo no ensino em salas de aula de cursos de nível técnico, tecnólogo e superior. A exemplo da engenharia elétrica, conceitos abstratos e complexos relacionados à eletricidade frequentemente são abordados por meio de diagramas e expressões teóricas, o que dificulta a compreensão dos alunos. A ausência de uma representação visual e concreta dos conceitos elétricos impede que os estudantes visualizem o funcionamento e as interações de forma direta (REISSLEN; MORENO & OZOGUL, 2010).

Portanto, a lacuna existente entre teoria e prática pode levar à desmotivação e consequentemente um enfraquecimento do aprendizado. Sendo assim, alternativas tecnológicas que possibilitem uma visualização prática e imersiva do conteúdo ministrado, pode vir a tornar o ensino mais eficiente e motivacional na graduação (AZEVEDO et al., 2023).

Paralelo ao problema de ensino, nota-se também que a falta de utilização da tecnologia BIM em projetos de engenharia tem sido um obstáculo para a eficiência e qualidade na indústria da construção. Sem o uso do BIM, os projetos geralmente são baseados em desenhos bidimensionais, o que prejudica a visualização e a compreensão das informações do projeto como um todo. A falta de modelos tridimensionais precisos e detalhados dificultam a detecção de conflitos, a coordenação entre as diversas disciplinas e a tomada de decisões da execução (ABBAS, DIN & FAROOQUI, 2016).

1.2. Hipótese

A criação de uma biblioteca de componentes elétricos tridimensionais em BIM, atrelada aos recursos da realidade aumentada pode melhorar significativamente a compreensão e a experiência prática do ensino em sala de aula, permitindo aos estudantes visualizar e manipular os componentes em um ambiente virtual, podendo resultar em um processo de aprendizado mais efetivo e engajador tanto para os discentes quanto para os docentes.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Efetuar a modelagem BIM dos principais componentes de um quadro de comandos elétricos, criando uma biblioteca de modelos tridimensionais de componentes elétricos. Além disso, implementar a visualização desses modelos por meio de realidade aumentada, proporcionando uma experiência imersiva, como um recurso didático para o ensino e a elaboração de projetos dessa natureza.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analisar os principais componentes presentes em quadros de comando e força;
- Efetuar a modelagem tridimensional das peças;
- Realizar testes e validações do componente elétrico;
- Organizar os componentes elétricos em bibliotecas;
- Realizar a importação da biblioteca para software de projetos, ou outro que possibilite uma visualização amigável e interativa, como no caso do uso de ferramentas digitais de realidade aumentada.

1.4. Justificativa

A justificativa deste trabalho está tanto na necessidade da elaboração de alternativas para auxiliar o ensino, promovendo uma visualização prática dos componentes constituintes dos quadros de comando e força a serem instalados em residências e edifícios comerciais e industriais, quanto também na demanda existente do setor de projetos, devido à falta de modelos tridimensionais de peças e componentes de quadros elétricos nos softwares específicos de projeto.

Vale ressaltar também os benefícios acadêmicos para a instituição de ensino, haja vista que a biblioteca de componentes proveniente deste trabalho estará disponível para visualização e edição, a ser disponibilizada em uma plataforma Open Source e gratuita. Dessa forma, este trabalho poderá servir de inspiração para possibilitar a criação de modelos tridimensionais e de diversas bibliotecas de peças para usos específicos.

1.5. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi dividido em 5 capítulos, sendo o primeiro deles a Introdução, no qual foi feito uma abordagem geral sobre o conteúdo a ser tratado nesse projeto.

Já no segundo capítulo, está apresentada a Revisão da Literatura, parte na qual está contido todo o levantamento bibliográfico pertinente à discussão e compreensão da importância do presente estudo.

O terceiro capítulo trata-se dos Recursos Metodológicos, ou seja, diz respeito a todos os processos que foram necessários para a realização dos objetivos propostos no projeto.

Já o quarto capítulo irá tratar sobre os Resultados obtidos no presente projeto, sendo três principais: a criação da biblioteca de componentes elétricos em BIM, a montagem do quadro elétrico e a utilização do quadro montado em um ambiente de realidade aumentada.

Por fim, no último capítulo, estão apresentadas as Conclusões do estudo realizado, bem como as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. História do Desenho Técnico no Brasil

O desenho é uma forma artística de representar visualmente formas e ideias. Pode ser feito à mão livre, em forma de esboço, com o auxílio de instrumentos ou assistido por computador (CAD), seguindo certas normas (SERRA, S. M.B, 2013).

No contexto técnico, o desenho torna-se essencial como meio de expressão e comunicação, servindo como a ligação entre a concepção do projeto e a sua execução. O desenho técnico fornece detalhes precisos para aqueles envolvidos no planejamento da fabricação e informa como o objeto final será para aqueles encarregados de produzi-lo (SILVA, 2001).

A história do ensino do desenho técnico no Brasil remonta ao início do século XIX, embora tenha recebido pouca atenção devido à predominância da economia agrícola na época. Na Europa, o ensino formal do desenho técnico só começou a ganhar valor a partir do século XVIII, quando as primeiras escolas técnicas foram estabelecidas para atender às demandas do processo de industrialização. No contexto brasileiro, somente no final do século XIX e início do século XX surgiram as primeiras instituições de ensino técnico voltadas para o desenho técnico. Desde então, o desenho técnico tem ganhado amplo espaço em diversas áreas, incluindo projetos mecânicos, mobiliários, arquitetônicos e aeroespaciais e elétricos (BAZZO, 1998; NASCIMENTO, 1996).

De acordo com Metraglia et al., (2013) a adoção da tecnologia 3D em desenho técnico é amplamente reconhecida e faz parte do dia a dia das indústrias contemporâneas, seja para elaboração de peças, equipamentos ou em projetos mecânicos. Dessa forma, o domínio das ferramentas de software 3D está se tornando cada vez mais essencial para os estudantes de engenharia, sendo que as competências relacionadas a essa área estão se tornando o cerne dos programas de ensino de desenhos de engenharia.

O BIM oferece um conjunto abrangente de informações, além dos desenhos em 3D. O uso do BIM no processo de projetos representa um avanço significativo em relação ao CAD, que se concentra na automatização do trabalho realizado em pranchetas. Por ser capaz de criar modelos detalhados de construção, o BIM enfatiza a etapa de concepção do projeto e fornece uma ampla gama de informações para análise e simulação (COSTA, 2016).

A título de comparação, Menezes (2011) realizou um estudo referente ao início das implementações das tecnologias CAD e BIM no contexto global e no contexto brasileiro. Em seu estudo, observa-se que os primeiros registros de projetos baseados em desenhos assistidos

por computador (CAD) no exterior foram datados no início da década de 70. O mesmo registro de projetos empregando essa tecnologia só foi observada no Brasil no ano de 1990. Esse intervalo de 20 anos foi evidenciado novamente ao se analisar o início das implementações da tecnologia BIM no exterior e no Brasil, sendo os inícios em 1980 e em 2000, respectivamente.

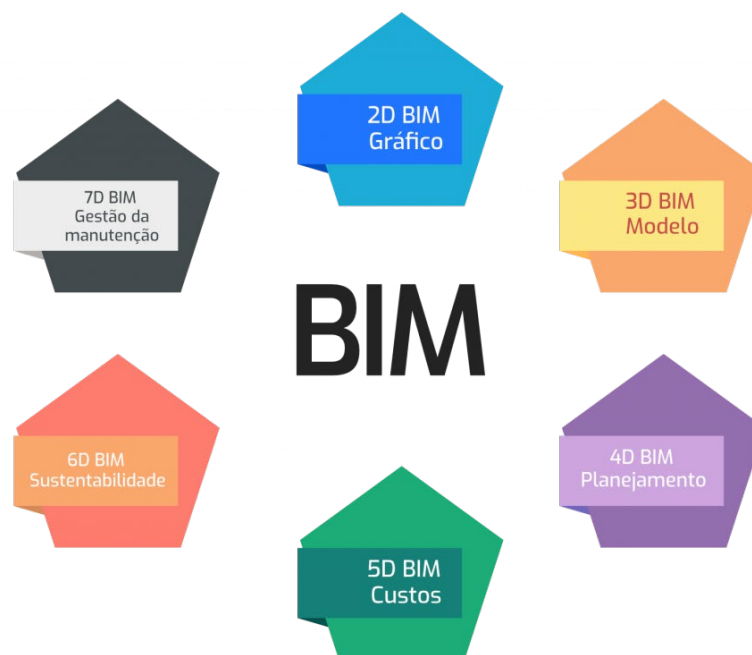
2.2. Sobre o BIM

A tecnologia BIM é um conceito que engloba a ideia de criar um edifício virtual antes de construí-lo fisicamente. Ao projetar utilizando esse conceito, todas as informações essenciais para a construção são reunidas em um modelo digital. Esse modelo eletrônico se transforma em um banco de dados que possibilita a simulação precisa de um protótipo da construção real (NETTO, 2016).

De acordo com Eastman et al. (2014), o “Building Information Modeling” tem suas origens em estudos sobre o uso de computadores no auxílio ao projeto, realizados há décadas. No entanto, ainda não há uma definição única e amplamente aceita para o BIM. Segundo os pesquisadores, o BIM pode ser descrito como uma tecnologia de modelagem, juntamente com um conjunto de processos relacionados, que têm como objetivo produzir, comunicar e analisar modelos de construção.

Conforme destacado por Masotti (2014), o BIM é composto por várias camadas de informações, também conhecidas como dimensões. Dependendo do contexto de uso, um modelo BIM pode abranger desde a dimensão 2D até nD. Segundo a análise de Gonzaga (2021), as 6 principais dimensões do BIM são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - As dimensões do BIM



Fonte: Gonzaga (2021)

Sobre as dimensões BIM, Neil Calvert (2013) *apud* Costa (2016) descreve-as individualmente como sendo:

- **2D Gráfico:** são as dimensões do plano, onde estão representadas graficamente as plantas do empreendimento.
- **3D Modelo:** adiciona a dimensão espacial ao plano, onde é possível visualizar os objetos dinamicamente. Um modelo 3D pode ser utilizado na visualização em perspectiva de um empreendimento, na pré-fabricação de peças, em simulações de iluminação. No caso do BIM, cada componente em 3D possui atributos e parametrização que os caracterizam como parte de uma construção virtual de fato, não apenas visualmente representativa.
- **4D Planejamento:** adiciona a dimensão tempo ao modelo, definindo quando cada elemento será comprado, armazenado, preparado, instalado, utilizado. Organiza também a disposição do canteiro de obras, a manutenção e movimentação das equipes, os equipamentos utilizados e outros aspectos que estão cronologicamente relacionados.
- **5D Custos:** adiciona a dimensão custo ao modelo, determinando quanto cada parte da obra vai custar, a alocação de recursos a cada fase do projeto e seu impacto no orçamento, o controle de metas da obra de acordo com os custos.

- **6D Sustentabilidade:** adiciona a dimensão energia ao modelo, quantificando e qualificando a energia utilizada na construção, a energia a ser consumida no seu ciclo de vida e seu custo, em paralelo à 5ª dimensão. A energia, neste caso, pode estar diretamente relacionada ao impacto físico do projeto no meio em que este está inserido.

- **7D Gestão da manutenção:** adiciona a dimensão de operação ao modelo, em que o usuário final pode extrair informações de como o empreendimento como um todo funciona, suas particularidades, quais os procedimentos de manutenção em caso de falhas ou defeitos.

No contexto mundial, a norma ISO nº 19.650 estabelece os padrões internacionais para aplicação e implementação do BIM, tendo como principal objetivo a disseminação do uso da tecnologia e promover o crescimento do setor de projetos e construção (NASCIMENTO, D. L. M., 2021). Segundo Santos, L.R.S. (2023), alguns países são destaques quanto ao início da utilização do BIM em projetos governamentais, como por exemplo: Finlândia (2007), Holanda (2011), Chile (2011), Singapura (2015) e Reino Unido (2016).

Já no Brasil, embora não tenhamos sido pioneiros na adoção dessa tecnologia na construção civil, tem havido um progresso significativo ao longo dos anos. Tanto as empresas quanto os profissionais têm se esforçado para se familiarizar e se adaptar às novas tecnologias, e a administração pública tem desempenhado um papel fundamental ao incentivar a sua adoção. Isso tem trazido diversas vantagens para o setor público, incluindo melhorias na construção de obras públicas, otimização orçamentária e aumento da qualidade das construções governamentais (GONZAGA, 2021).

Nesse contexto, nota-se que foram empreendidos esforços significativos por parte do Estado por meio da implementação da Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos (Lei nº 14.133), que entrou em vigor em 1º de abril de 2021, visando estimular o uso da tecnologia BIM. Como evidenciado no Art. 19, § 3º, estabeleceu-se a ferramenta prioritária na elaboração de projetos para obras públicas:

Nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modelling – BIM) ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham a substituí-la (BRASIL, 2021a).

De maneira similar, foi estabelecido pelo governo do Reino Unido, em 2016, que todos os projetos de edifícios públicos seriam obrigados a utilizarem a tecnologia BIM em seus

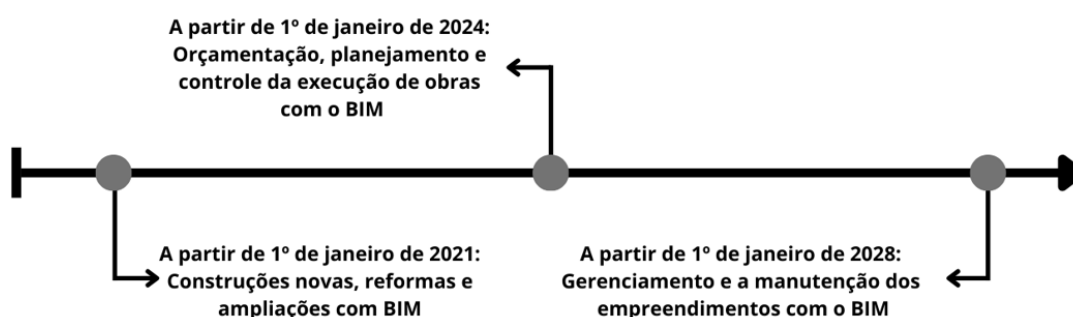
processos de desenvolvimento. Tal medida corroborou para que muitas universidades do país começassem a integrar o conceito BIM nas ementas dos cursos, visando satisfazer as demandas do setor (ABBAS, DIN & FAROOQUI, 2016).

2.2.1. BIM no Brasil

Embora o início da atuação do BIM no Brasil tenha sido por volta dos anos 2000, a primeira legislação de abrangência nacional só foi publicada em 2018, por meio da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil (Estratégia BIM BR), criada pelo Decreto nº 9.377 de 17 de maio de 2018. Dentre os objetivos do decreto, citam-se: difundir o BIM e seus benefícios, coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM, criar condições favoráveis para investimento público e privado em BIM e estimular a capacitação em BIM (BRASIL, 2018; MENEZES, 2011).

Em 2019 o Decreto nº 9.377/2018 sofreu alteração, sendo sancionada a mudança pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Neste novo decreto, além de instituir as principais diretrizes da elaboração da Estratégia BIM BR, foi designado pelo Decreto, o Comitê Gestor da Estratégia do BIM. Na sequência, em 2 de abril de 2020, foi publicado o Decreto nº 10.306, para estabelecer a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia pela administração pública, bem como as fases de implantação (Figura 2) da metodologia BIM no país (BRASIL, 2019; BRASIL 2020).

Figura 2 – Fases de implantação do BIM no Brasil



Fonte: adaptado de Brasil (2020)

Ainda em 2019, em uma ação conjunta entre o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), foi criada a Plataforma BIM BR. A plataforma tem como finalidade promover a democratização do acesso às informações BIM, bem como também dispor de materiais didáticos, cursos,

biblioteca gratuita de componentes em BIM, guias de modelagem e entre outros assuntos (ABDI, 2024; JUSTI, 2021).

Já em abril de 2021, foi publicada a Nova Lei de Licitações (Lei 14.133/21), que veio para substituir a Lei 8.666/93. A nova legislação estabeleceu o uso preferencial da metodologia BIM para projetos de obras da Administração Pública. A Lei surge em um momento oportuno, fazendo valer o previsto no plano de implementação do BIM no Brasil, retratado na Estratégia BIM BR (BRASIL, 2021).

Ainda em abril, a parte 4 da ABNT NBR 15965 foi publicada. A NBR 15965 tem como título geral “Sistemas de classificação da Informação da Construção” e é dividida em 7 partes, conforme apresentado na Figura 3. A parte 4 da norma diz respeito aos “Recursos da construção”, e contempla os principais critérios e classificações para as nomenclaturas dos objetos e componentes modelados em BIM no Brasil.

Figura 3 – Partes da ABNT NBR 15965

Parte 1	Terminologia e estrutura
Parte 2	Características dos objetos da construção
Parte 3	Processos da construção
Parte 4	Recursos da construção
Parte 5	Resultados da construção
Parte 6	Unidades da construção
Parte 7	Informação da construção

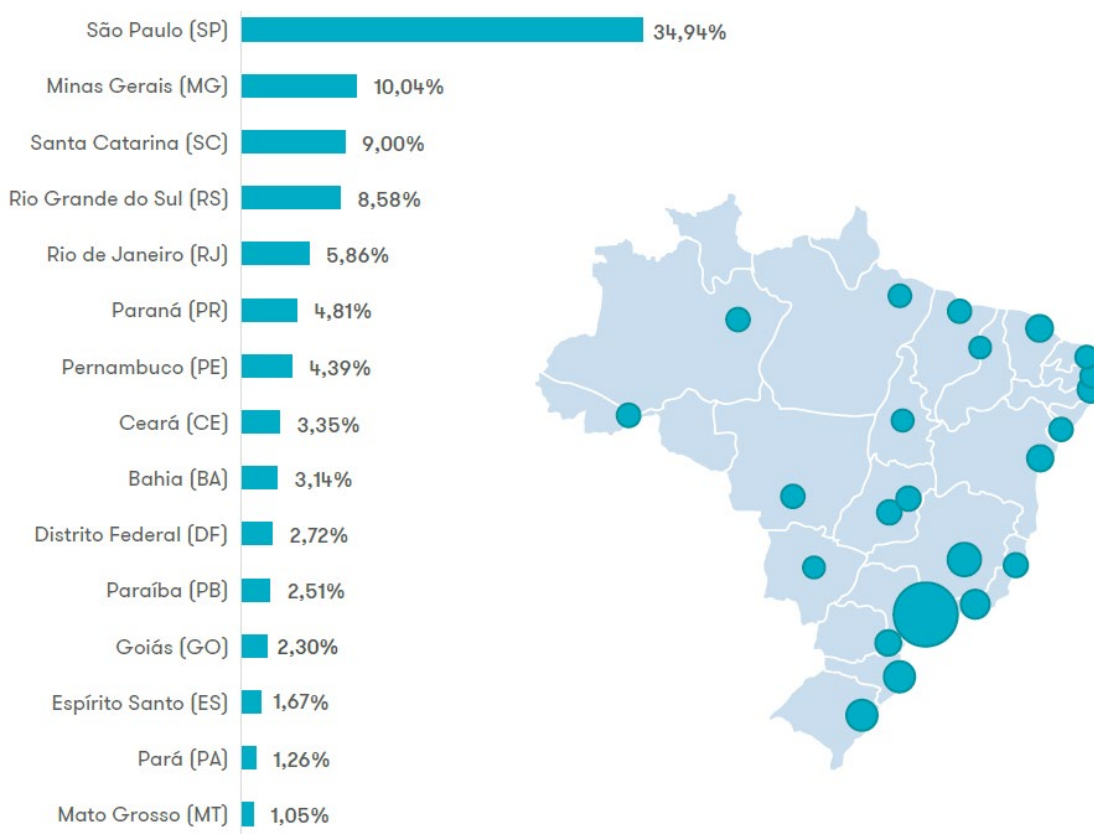
Fonte: adaptado de ABNT NBR 15965-4 (2021)

Em 2024 o Decreto nº 9.983/2019 foi revogado e alterado pelo novo Decreto nº 11.888, de 22 de janeiro de 2024. O novo decreto manteve as principais diretrizes e objetivos na implementação da Estratégia BIM BR, acrescentando novos itens, critérios e representantes do Comitê Gestor da Estratégia do BIM no Brasil (BRASIL, 2024).

Buscando uma avaliação em relação ao avanço da metodologia BIM no Brasil, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI, em parceria com a Grant Thornton

Brasil e com a Sienge, realizou um mapeamento da utilização do BIM por parte das empresas em todos os estados brasileiros (ABDI, 2022). A Figura 4 apresenta o resultado obtido pela agência, bem como os percentuais de utilização por estado.

Figura 4 – Mapeamento da maturidade BIM no Brasil



Fonte: ABDI (2022)

Ao analisar a distribuição regional da utilização do BIM na Figura 4, observa-se que 73,2% das empresas que utilizam BIM em seus processos estão localizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, com a maior concentração no Estado de São Paulo. O mercado de atuação das empresas participantes da entrevista foi predominantemente o da Construção Civil, sendo que os principais serviços prestados eram de Engenharia/Arquitetura, com a elaboração de projetos (ABDI, 2022).

2.2.2. Componentes BIM

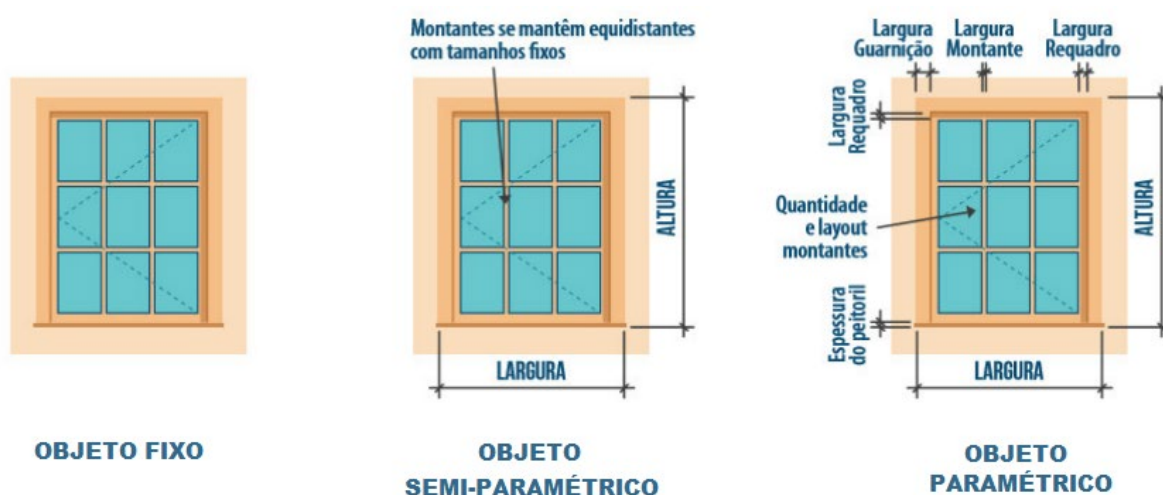
Um projeto em BIM é composto por elementos denominados famílias, que possuem atributos que podem ser modificados de acordo com as necessidades do projetista. Esses

atributos podem ser predefinidos quando se trata de elementos fornecidos por fabricantes, como modelos de maçanetas, tipos de torneiras ou dimensões de pisos. Além disso, outros atributos, como alturas de paredes e larguras de portas, podem ser ajustados conforme necessário (COSTA, 2016).

Segundo Santos e Catelani (2017) *apud* Pêsoa (2017), no processo de modelagem utilizando a plataforma BIM, o primeiro passo consiste na escolha de componentes disponíveis em bibliotecas. Esses componentes representam todos os elementos que compõem uma construção e podem ser modelados pelo usuário ou fazer parte das bibliotecas internas do software. Uma vez selecionado o componente, ele é inserido no modelo e seus parâmetros são ajustados conforme necessário.

A principal distinção entre as ferramentas CAD e BIM reside na semântica associada aos componentes. Cada objeto BIM contém informações abrangentes, como marcas, modelos, normas, materiais e links para bases de dados externas. Essa semântica permite que os aplicativos interpretem o modelo BIM e executem tarefas inteligentes com base nele (PÊSSOA, 2017). Segundo Catelani (2016), os objetos BIM podem ser definidos como fixos, semiparamétricos e paramétricos, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de objetos paramétricos com atributos fixos, atributos que permitem alterações parciais e que permitem alterações totais.



Fonte: Adaptado de Pêsoa (2017)

Cada componente BIM possui propriedades específicas e formas de se relacionar com os demais elementos do modelo. Além disso, uma grande diferença entre CAD e BIM é que, enquanto nas ferramentas CAD cada elemento é criado passo a passo conforme necessário, no

BIM o projetista geralmente insere componentes já modelados, sem a necessidade de criar novos elementos (PÊSSOA, 2017).

2.2.3. A interoperabilidade e o formato IFC

Grande parte do sucesso do BIM está relacionado com a característica dos modelos produzidos com essa tecnologia serem capazes de trocar informações entre si. Em um projeto BIM, presume-se que haverá o envolvimento de vários integrantes e a comunicação entre os vários sistemas de análise do modelo tridimensional. Nesse contexto, a interoperabilidade é fator preponderante para o bom desenvolvimento de um trabalho empregando essa tecnologia (ADDOR et al., 2010).

Nenhuma aplicação individual é capaz de lidar sozinha com todas as etapas envolvidas no projeto e produção de uma construção. A interoperabilidade, nesse sentido, desempenha um papel crucial ao permitir a transferência de dados entre diferentes aplicações, possibilitando a contribuição de especialistas e ferramentas diversas para o trabalho em questão. Historicamente, a interoperabilidade tem se baseado na troca de formatos de arquivos, como por exemplo o DXF (Drawing eXchange Format) e o IGES, que são capazes de transferir apenas informações geométricas (EASTMAN et al., 2014 *apud* PEREIRA, 2017).

Em busca de aumentar a eficiência da interoperabilidade, torna-se fundamental a implementação de um protocolo universal padrão para troca de dados nos programas e nos processos do projeto. Nessa perspectiva, surge o IFC (Industry Foundation Classes), que para Pereira (2017) é “um formato de arquivo de dados voltado para o objeto, baseado na definição de classes que representam elementos, processos, aparências, etc.”.

O IFC (Industry Foundation Classes) é um formato de arquivo não proprietário, baseado em uma arquitetura aberta e considerado uma linguagem comum. Sua principal finalidade é permitir a troca de informações entre modelos de construção desenvolvidos por diferentes fabricantes de software. O IFC foi cuidadosamente projetado para criar um amplo conjunto de representações de dados consistentes, abrangendo informações relevantes para a construção, a fim de facilitar o intercâmbio eficiente entre diferentes softwares utilizados na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (EASTMAN, et al, 2014; ADDOR et al., 2010).

2.2.4. Ferramentas BIM

As ferramentas BIM atuais variam em diversos aspectos, como sofisticação dos objetos base, facilidade para definir novas famílias de objetos, métodos de atualização, capacidade de geração de desenhos e integração com outros softwares (EASTMAN et al., 2014).

As plataformas BIM são avaliadas considerando vários aspectos, como origem, organização, família de produtos, uso de arquivos, suporte para trabalho simultâneo, interfaces, biblioteca de objetos, preço, sistema de classificação, escalabilidade, facilidade de uso, suporte a cortes 2D, tipos de objetos e atributos derivados (EASTMAN et al., 2014).

Dentre as ferramentas BIM, pode-se citar as mais conhecidas e utilizadas atualmente como por exemplo: Revit e Navisworks (Autodesk), ArchiCAD (Graphisoft), Home Designer Suite (Better Homes & Gardens), Solidworks (SOLIDWORKS Corp.) e Blender (Blender Foundation).

Quando se trata da utilização de softwares de modelagem e arquitetura, nota-se que os principais nomes citados no mercado possuem licenças com um valor bem elevado, tornando difícil a inserção de profissionais autônomos ou até mesmo a capacitação de estudantes universitários. Nesse contexto, o Blender surge como uma alternativa gratuita e bem equipada para desenvolvimento de projetos de modelagem.

2.3. Blender

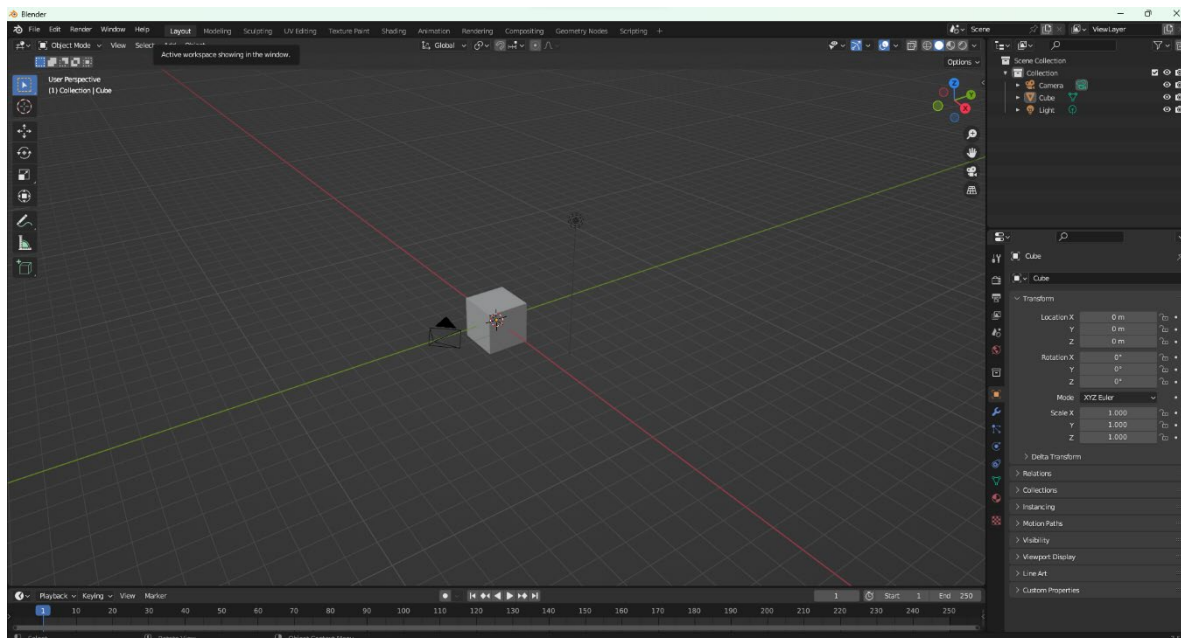
O Blender, também chamado de blender3d, é um software de computador de código aberto desenvolvido pela Blender Foundation. Ele oferece recursos abrangentes para modelagem, animação, texturização, composição, renderização e edição de vídeos (BLENDER, 2023). Por ser um programa gratuito, o Blender representa uma ótima alternativa para modelagem de maneira em geral.

O software é compatível com várias plataformas, tornando-se acessível em diversos sistemas operacionais. O Blender possui recursos semelhantes aos encontrados em outros programas comerciais, oferecendo ferramentas avançadas de simulação, como dinâmica de corpos rígidos, corpos deformáveis e fluidos. Além disso, possui recursos de modelagem baseados em modificadores, animação de personagens, um sistema de composição que utiliza nós para texturas, cenas e imagens, e um editor de imagem e vídeo com suporte para pós-produção (BLENDER, 2023).

A interface do programa é bem didática e intuitiva, entretanto devido ao elevado número de funcionalidades e possibilidades de operações, compreender o Blender em sua totalidade

pode se tornar uma tarefa complicada. Na Figura 6, é possível observar a interface do Blender, em sua última versão (4.1 para dispositivos Windows).

Figura 6 – Interface inicial do 3D Builder 4.1



Fonte: Aatoria Própria (2024)

Em virtude de o Blender ser um programa de código aberto, torna-se possível o desenvolvimento e a publicação de uma ampla variedade de complementos e extensões, criados tanto pela desenvolvedora quanto pela comunidade. Essa característica expande consideravelmente as capacidades do software, tornando-o uma ferramenta extremamente versátil e completa, capaz de atender a diversas demandas em áreas como modelagem 3D, projetos de arquitetura, cálculos estruturais, entre outros (LOMBARDI, M & RIZZI, D., 2024; BLENDER, 2023; MALEWCZYK, M., 2021).

2.3.1. BlenderBIM

O BlenderBIM é um complemento de código aberto lançado em 2019 para o Blender. Esse complemento foi desenvolvido por voluntários do programa ifcOpenShell e tem como objetivo permitir a criação, leitura e escrita de arquivos de design e modelagem no padrão IFC, viabilizando o uso do Blender dentro do fluxo de trabalho BIM e possibilitando a cooperação com outros profissionais e programas que operam nesse padrão (BLENDERBIM, 2024; MALEWCZYK, M., 2021).

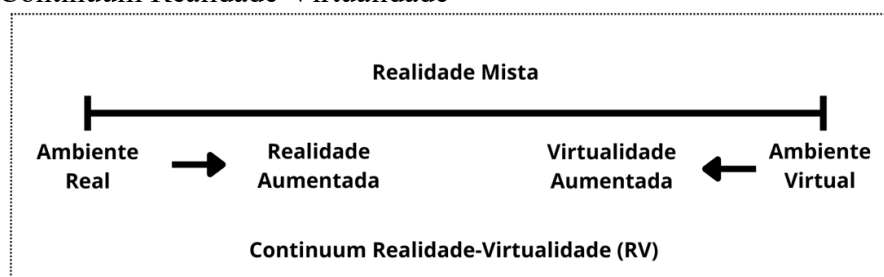
Ao comparar a modelagem BIM, utilizando o Blender com o complemento BlenderBIM em relação aos programas conceituados do mercado (SolidWorks, Revit e ArchiCad), percebe-se que tais programas em sua maioria apresentam uma abordagem de modelagem orientada a objetos, ou seja, o usuário tem uma ferramenta especializada para modelagem de elementos específicos (paredes, tetos, escadas, entre outros). O Blender não possui nenhuma ferramenta orientada a objetos, haja vista que é um modelador 3D tradicional. No entanto, o modelador, utilizando as funções do Blender, consegue criar a geometria do objeto, e, posteriormente, utilizando-se do complemento BlenderBIM, adiciona a camada de informações à geometria (MALEWCZYK, M., 2021).

Atualmente o complemento BlenderBIM 0.7.11 encontra-se disponível para download para as versões do Blender superiores a v3.6. Além da disponibilização do complemento e das atualizações, a ifcOpenShell apresenta toda a documentação e tutorial para manipulação de objetos com uso da metodologia BIM em seu site “docs.blenderbim.org” (BLENDERBIM, 2024).

De acordo com a ifcOpenShell, o complemento BlenderBim foi projetado para ser uma extensão verdadeiramente BIM nativa e abrangente. Embora não possua uma lista exaustiva de funcionalidades, o complemento dispõe de ferramentas essenciais para diversos tipos de modelagem em padrão BIM, sendo possível realizar tarefas que variam desde a visualização de modelos IFC, até a criação de objetos, atributos, edição, gerenciamento de famílias e bibliotecas, instalações elétricas, entre outros (BLENDERBIM, 2024).

2.4. Realidade Aumentada

De acordo com Carmigniani & Furht (2011), a realidade aumentada (RA) pode ser definida com uma visão direta ou indireta em tempo real de um ambiente físico do mundo real que foi moldado pelo incremento de informações virtuais gerados por computação gráfica. Ambientes em realidade aumentada promovem uma interação tridimensional entre o espaço real e virtual, além de combinar objetos desses dois mundos (PUJIASTUTI, H & HARYADI, R., 2024). A Figura 7 apresenta um modelo simplificado de um *Continuum* Realidade-Virtualidade proposto por Milgram & Kishino (1994).

Figura 7 – Continuum Realidade-Virtualidade

Fonte: adaptado de Milgram & Kishino (1994)

O objetivo básico da RA é simplificar a vida do usuário ao trazer informações virtuais para o seu entorno imediato, bem como também promover uma visão indireta do que se passa no ambiente real. A tecnologia de RA aprimora a percepção do usuário com o mundo real, tornando a experiência mais rica e informativa (PUJASTUTI, H & HARYADI, R., 2024; CARMIGNIANI, J., & FURHT, B., 2011).

Devido às características da tecnologia de RA, esse recurso vem sendo amplamente utilizado nas mais diversas áreas no mundo todo. Desde os anos 90, a tecnologia de RA é empregada na medicina, manufatura, aeronáutica, robótica, entretenimento, turismo e, mais recentemente, vem sendo utilizada nas redes sociais, na construção civil e na área da educação (VARAS, J. et al., 2023; MOLNÁR, G., SZÚTS, Z., BIRÓ, K., 2018; HEINZEL, A., AZHAR, S., NADEEM, A., 2017; BOWER et al., 2014).

Com a evolução da RA, eleva-se o número de aplicações e plataformas disponíveis ao público geral para diversas finalidades, que variam desde entretenimento, como por exemplo, o jogo Pokémon GO, até auxílio na medicina, na indústria da moda e em projetos de instalações da construção civil (MOLNÁR, G., SZÚTS, Z., BIRÓ, K., 2018; CARMIGNIANI, J., & FURHT, B., 2011). Dentre as plataformas, o Vuforia e o Unity 3D se apresentam como uma alternativa simples para o desenvolvimento de projetos com realidade aumentada.

Em pesquisa realizada por Simon (2023), visando ao desenvolvimento de uma aplicação baseada em RA, o pesquisador utilizou o ambiente de desenvolvimento Unity 3D em conjunto com a plataforma Vuforia. A ideia principal do trabalho era verificar a eficiência dos softwares para a realização de dois cenários teste, sendo que o primeiro consistia na criação de um jogo simples que utilizava um marcador gráfico em papel para criar um labirinto tridimensional, no qual o usuário deve mover um bloco esférico até a saída, simulando ação da gravidade. Já o segundo cenário consistiu na elaboração de um ambiente de simulação de um robô colaborativo,

responsável por planejar trajetórias de forma interativa. Após sucesso na realização dos seus testes, Simon destaca o potencial da RA em diversos segmentos, tais como educação e indústria.

A integração dos recursos da realidade aumentada com o BIM foi objeto de estudo de Meza et al., 2014. No trabalho realizado pelos pesquisadores, foi avaliado o potencial de como a tecnologia de RA poderia ser implementada de forma eficiente no setor da construção civil com projetos baseados em BIM. Os resultados dessa integração revelaram uma poderosa alternativa para a equipe de gestão do canteiro de obras e seus colaboradores, favorecendo o desenvolvimento de um trabalho mais eficiente e assertivo (HEINZEL, A., AZHAR, S., NADEEM, A., 2017; MEŽA, S., TURK, Ž., DOLENC, M., 2014).

3. RECURSOS METODOLÓGICOS

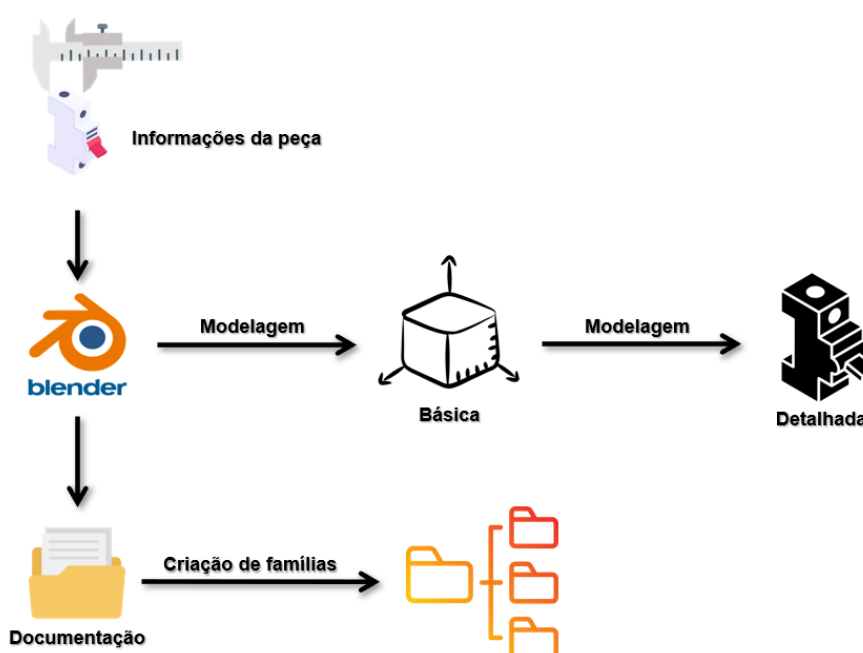
A metodologia desenvolvida no presente trabalho é dividida em 3 processos consequentes, sendo eles: (a) Modelagem e Criação da Biblioteca de Famílias de Componentes em BIM, (b) Modelagem do Quadro de Comandos Elétricos e (c) Elaboração do Ambiente de Realidade Aumentada com o Quadro de Comandos Elétricos.

Para a realização dos processos apresentados, foi necessária a utilização de diversos programas, sendo que, no presente trabalho, optou-se pelo uso de aplicações e ferramentas de acesso livre ou disponíveis gratuitamente na versão educacional. Toda a modelagem da família de componentes foi realizada no Blender com o complemento BlenderBIM, bem como a montagem das peças e detalhamento dos quadros. Para a criação do ambiente de realidade aumentada, foi utilizado o programa Unity com apoio da extensão Vuforia (necessária para adição das ferramentas de RA).

3.1. Modelagem e Criação da Biblioteca de Famílias de Componentes em BIM

A modelagem e a criação da biblioteca de famílias dos componentes elétricos respeitaram o passo a passo consolidado apresentado nos subitens do presente tópico, de forma a garantir uma padronização no processo de criação das peças e verificação do progresso em cada etapa da modelagem. A Figura 8 apresenta de forma simplificada as etapas do processo.

Figura 8 – Fluxograma simplificado da modelagem das peças



Fonte: Autoria própria (2024)

3.1.1. Levantamento de informações dos componentes

O primeiro passo para modelagem dos componentes na metodologia BIM proposta no presente trabalho é o levantamento das informações acerca de cada peça, objeto ou material que irá fazer parte integrante do componente final. Nessa etapa, foram utilizados diversos meios de pesquisa para que fosse possível realizar a captação de todas as informações pertinentes à criação das peças, como: dimensões dos componentes, formato, encaixes, tipo de material que é fabricado e aplicações.

Dentre os principais meios de busca das informações dos componentes, cita-se principalmente as informações contidas nos catálogos do fabricante, folha de dados, manual do usuário e especificações de instalação. Vale ressaltar que as informações foram coletadas de fabricantes com reconhecimento nacional e internacional, tais como: Clamper, WEG, Schineider Eletric, Siemens, Cemar, entre outros.

Tendo em mãos todas as características desejadas nos componentes a serem modelados, realizou-se o prosseguimento para a fase posterior, denominada “Etapa Conceito Primitivo”. Para levantamento do acervo de informações dos componentes, priorizou-se a localização das características dos componentes apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Componentes de interesse para a modelagem.

Item	Descrição	Tipo
1	Minidisjuntor DIN	Monopolar, bipolar e tripolar
2	Disjuntor em caixa moldada	Tripolar
3	Dispositivo diferencial-residual DIN	Bipolar, tripolar e tetrapolar
4	DPS DIN	Monopolar e bipolar
5	Minicontator	Comando e carga
6	Botoeira	Vermelha e verde
7	Sinaleiro	Vermelho e verde
8	Chave seletora	3 posições
9	Borne de passagem	Monopolar
10	Borne tipo banana	Monopolar
11	Trilho DIN	Genérico
12	Canaleta de PVC	Genérico com tampa
13	Barramento cobreado	Tipo pente e tipo espinha de peixe
14	Quadros de distribuição	Em chapa metálica

Fonte: Autoria Própria (2024)

3.1.2. Etapa do conceito primitivo

Em posse das informações necessárias, o segundo passo para a modelagem consiste em criar um objeto genérico para estabelecer o conceito geral do projeto. Para a realização de todo o processo de modelagem e montagem das peças, foi utilizado o software Blender, em sua versão 4.1, com a instalação do complemento BlenderBIM, necessário para as operações em BIM dentro do programa.

Nessa primeira etapa, o modelo do projeto é desenvolvido como um único bloco, sem a necessidade de criar peças individuais. Ao criar esse objeto inicial, as peças foram extraídas nas próximas etapas. No Blender, o objeto genérico inicial é um cubo, a partir dele foi possível definir os tamanhos das arestas e a posição espacial dos vértices.

Para a modelagem de todos os componentes, utilizou-se de ferramentas como: mover, rotacionar, extrudar, cortar, chanfrar, espelhar, escalonar e extrair. Tais ferramentas, compreendem o utilitário básico necessário para a modelagem 3D de quaisquer tipos de componentes. Vale ressaltar que, embora não fosse necessário para a etapa inicial de modelagem, foi instalado o complemento BlenderBIM no Blender, para realizar a compatibilização das peças modeladas no formato IFC.

3.1.3. Etapa da extração

A "Etapa Extração" foi a terceira etapa no processo de modelagem 3D em BIM. Nessa etapa, as principais referências para a criação dos componentes foram extraídas a partir da forma (ou "objeto") inicialmente criado na "Etapa Conceito". As extrações foram realizadas a partir de uma duplicação das faces, vértices e arestas do objeto conceito, sendo utilizados também como referência os planos e eixos da modelagem inicial.

Para essa etapa, componentes que possuíam uma geometria similar entre si, utilizaram o mesmo objeto "Conceito" primitivo. Ou seja, minidisjuntores no padrão DIN, DPS no padrão DIN e dispositivos DR, possuíam como base o mesmo objeto inicial, por exemplo.

3.1.4. Etapa do detalhamento

A etapa final da modelagem é a etapa de detalhamento, responsável por dar a aparência real ao objeto modelado. Nessa fase do projeto, cada componente adquire traços únicos que os caracterizam como tal, podendo ser um interruptor, um botão, conectores, pinos, terminais, LED's, displays, fios e outros elementos associados ao componente.

Após a finalização da modelagem da geometria do objeto, foi efetuada uma validação no traçado do componente com o objetivo de minimizar falhas na visualização 3D e nas etapas posteriores do projeto. A validação consistiu em suavizar linhas e maximizar a compatibilidade das conexões da peça, verificando sempre com o modelo de referência encontrado nos catálogos dos fabricantes.

Na sequência, o objeto modelado e validado adquire texturas, cores e tipo de material na sua composição, de forma a aprimorar a aparência do modelo. Esse processo da etapa de detalhamento envolveu a aplicação de cores (ou “*materials*”) apropriadas, como plástico, metal ou outros materiais comuns em componentes elétricos. Além disso, em situações oportunas, as texturas foram empregadas para simular detalhes superficiais, como superfície granulada ou inclusão de logotipos de marcas de componentes.

3.1.5. Etapa da documentação

Ao fim da modelagem de cada componente elétrico pretendido, foi realizada a documentação e o registro padronizado dos arquivos. A padronização dos arquivos para a construção da biblioteca de famílias de componentes seguiu padrões estabelecidos no GUIA 1 – Processo de Projeto BIM, disponibilizado na Coletânea Guias BIM da ABDI-MDIC (2017).

Os nomes dos arquivos dos componentes BIM foram compostos da seguinte maneira: “CodTab2C_Responsável_DescriçãoTipo_Subtipo_Livre.[extensão]”.

Onde:

- CodTab2C: é o código do componente, descrito na Tabela 2C da ABNT NBR 15965-4:2021, com níveis variando entre 2 a 5, sem separadores e possuindo 2 dígitos por nível;
- Responsável: Indica o responsável pelo componente, não necessariamente o desenvolvedor das peças;
- Descrição Tipo: Breve descrição do componente em conformidade com a ABNT NBR 15965-4:2021;
- Subtipo: Parâmetro opcional que é utilizado para diferenciar componentes de uma mesma família (Ex.: Minidisjuntor 32A e Minidisjuntor 16A).
- Livre: Espaço reservado para descrições relevantes a identificação dos componentes modelados.
- [extensão]: refere-se ao formato de salvamento dos arquivos (sem colchetes). No presente trabalho, foram empregados os seguintes formatos: .IFC (formato BIM

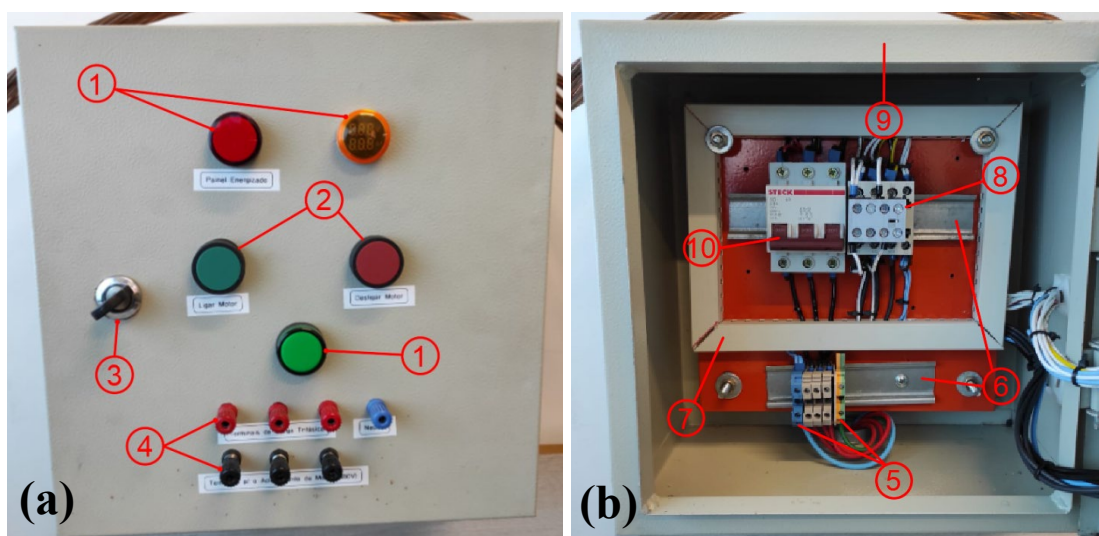
internacional), .BLEND (formato de arquivos padrão dos projetos em Blender) e .GLB (formato eficiente em termos de interoperabilidade com softwares de visualização em realidade aumentada na Web).

Após a realização do processo de salvamento do arquivo 3D modelado em BIM, o projeto foi prosseguido para a etapa de montagem do Quadro de Comandos Elétricos do Laboratório do Grupo de Estudos em Sistemas de Energia Elétrica do IFTO – Campus Palmas.

3.2. Montagem do modelo do Quadro de Comandos Elétricos (QD-GESEE)

A montagem do QD-GESEE foi feita com base no relatório fotográfico e nas medidas obtidas em campo, na qual foi realizado o levantamento de todas as características pertinentes do Quadro de Comandos Elétricos a ser modelado. Na Figura 9, é apresentado o quadro que foi modelado em BIM com os componentes elétricos da biblioteca de famílias criada.

Figura 9 – Quadro QD-GESEE. (a): vista frontal c/ tampa fechada. (b) vista frontal c/ tampa aberta.



Fonte: Autoria própria (2024)

Os itens da biblioteca que foram utilizados para a modelagem do quadro são: (1) – Sinaleiro, (2) – Botoeira, (3) – Chave para abertura, (4) – Bornes de conexão tipo banana, (5) – Bornes de passagem, (6) – Trilho DIN, (7) – Canaleta PVC, (8) – Blocos de contato e minicontator, (9) – Quadro metálico e (10) – Minidisjuntor tripolar.

A etapa seguinte do processo exige a criação de um modelo 3D que se deseja representar no ambiente de RA. Na presente situação, o modelo 3D requisitado trata-se do Quadro de Comandos Elétricos (QD-GESEE) modelado no Blender. Em posse da imagem de referência e do modelo 3D a ser representado na imagem alvo, efetua-se a criação do ambiente de realidade aumentada com a utilização do Vuforia no programa Unity, atrelando o quadro modelado em BIM ao recurso alvo.

Após a parametrização e automação dos processos no *software* de criação do ambiente de realidade aumentada, procedeu-se para a etapa de testes de validação e ajustes do objeto virtual no espaço de realidade aumentada. Nessa etapa, através de simulações no *software*, foram realizados os seguintes ajustes: tamanho do QD-GESEE, surgimento de marcações em função da distância de visualização, ângulo de exposição e rotação do objeto.

Finalizados os ajustes necessários, conduziu-se para a etapa final de exportação do aplicativo desenvolvido para dispositivos móveis (Android e IOS). A compilação do aplicativo é feita no Vuforia Unity, no qual é obtido o pacote de instalação em formato “.APK”, se tratando de dispositivos com arquitetura android. Realizada a instalação do “.APK” no dispositivo móvel, prossegue-se para a execução da aplicação que, ao inicializar, projeta-se a imagem capturada pela câmera e realiza a busca constante dos recursos alvo definidos nessa metodologia.

4. MODELAGEM DA BIBLIOTECA

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da modelagem dos componentes elétricos em BIM, da montagem do modelo do quadro elétrico QD-GESEE, utilizando os componentes modelados e, posteriormente, no Capítulo 5, será apresentada a integração do QD-GESEE em um ambiente de realidade aumentada para dispositivos móveis.

Inicialmente, serão detalhados os resultados relativos à modelagem dos componentes elétricos para a criação da biblioteca de famílias em BIM, apresentando a forma final do modelo genérico do componente parametrizado modelado e sua respectiva nomenclatura de objeto BIM.

Na sequência será apresentado o quadro QD-GESEE já finalizado com os detalhamentos e características próprias do quadro real, bem como também a integração do modelo tridimensional criado com um ambiente de realidade aumentada.

4.1. Biblioteca de Famílias de Componentes em BIM

A criação da biblioteca de famílias seguiu fielmente os critérios estabelecidos na ABNT NBR 15965-4, em relação aos códigos dos componentes, necessários à nomenclatura dos arquivos em BIM. O descritivo dos códigos utilizados, bem como o termo base indicado na norma supracitada estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Códigos dos componentes modelados em BIM (NBR 15965-4).

Componentes	Código Tabela 2C	Termo base da Tabela 2C
Disjuntores DIN	2C823800000000	Disjuntores
DR's DIN	2C825600000000	Dispositivos de proteção de energia elétrica
DPS DIN	2C825614000000	Dispositivos de proteção contra surtos
Contator	2C824800000000	Contatores elétricos
Botões	2C825200000000	Interruptores elétricos
Sinalizadores	2C827210000000	Sinalizadores luminosos de saída
Chave seletora	2C825200000000	Interruptores elétricos
Bornas	2C824406000000	Componentes condutores de eletricidade
Trilhos DIN	2C921406000000	Perfis de alumínio
Canaleta PVC	2C824430100000	Canaleta horizontal para cabos elétricos
Barramento elétrico	2C824046060000	Barramento elétrico de cobre
Quadros de distribuição	2C824038020000	Quadro de distribuição

Fonte: Autoria própria (2024)

Conforme observa-se na Tabela 2, os códigos da Tabela 2C da ABNT NBR 15965-4 apresentam termos genéricos em sua grande maioria. Dessa forma, cabe ao projetista BIM escolher corretamente a que classe ou categoria de itens determinada peça ou produto faz parte. Vale ressaltar ainda que, a modelagem de componentes em que a norma não possui especificação em sua tabela, devem ser utilizados a inicial padronizada “2C99...” referente à classe de “outros componentes”.

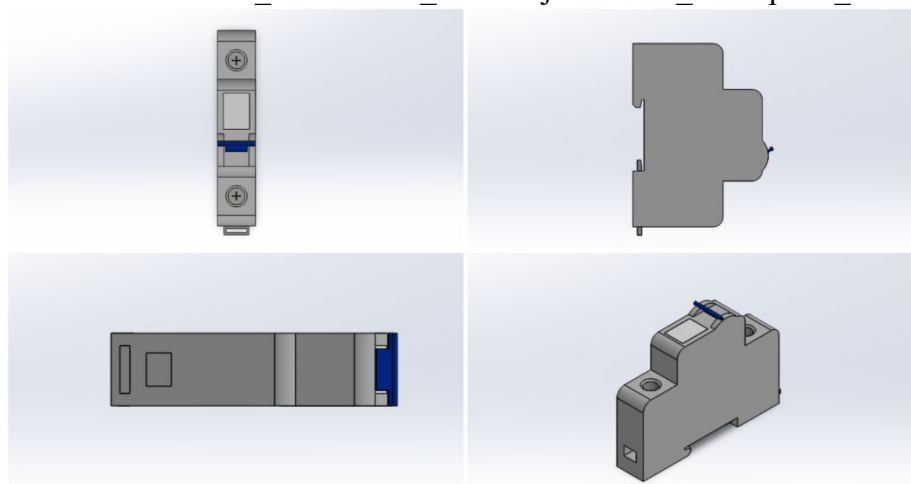
Para a realização na nomenclatura dos componentes, foi necessário escolher uma entidade responsável pelos arquivos modelados que, não necessariamente seja o desenvolvedor das peças e modelos criados. No presente trabalho, foi definido como responsável pelos arquivos, a Coordenação da Área da Indústria do IFTO Palmas (atualmente conhecida como Núcleo Docente Articulado de Controle e Processos Industriais), sendo que, o termo empregado para a nomenclatura dos arquivos foi “CoindIFTO”, o qual estará presente em todos os modelos.

A terceira e a quarta lacuna da nomenclatura foi destinada ao tipo e ao subtipo geral do componente, como por exemplo a peça “Disjuntor DIN Tripolar 125A”, teria como “tipo” o nome “Disjuntor DIN” e o subtipo o nome “Tripolar”. O espaço livre ficou reservado para a informação da corrente nominal do disjuntor “125A”. Em casos de peças genéricas, o valor da corrente nominal foi substituído por “XA”.

4.1.1. Minidisjuntor DIN

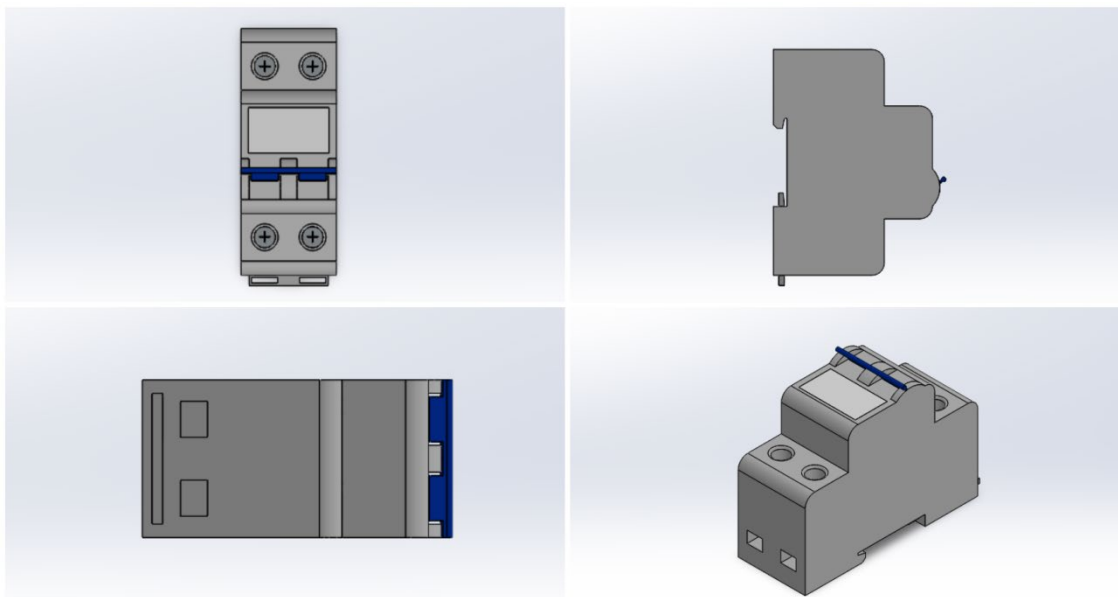
O minidisjuntor DIN genérico possui 3 tipos, sendo eles: monopolar, bipolar e tripolar. Nas Figuras 11, 12 e 13 é apresentado o resultado da modelagem dos três tipos de disjuntores, respectivamente. O termo livre do nome dos disjuntores refere-se à corrente em amperes.

Figura 11 – 2C823800000000_CoindIFTO_MiniDisjuntorDIN_Monopolar_XA



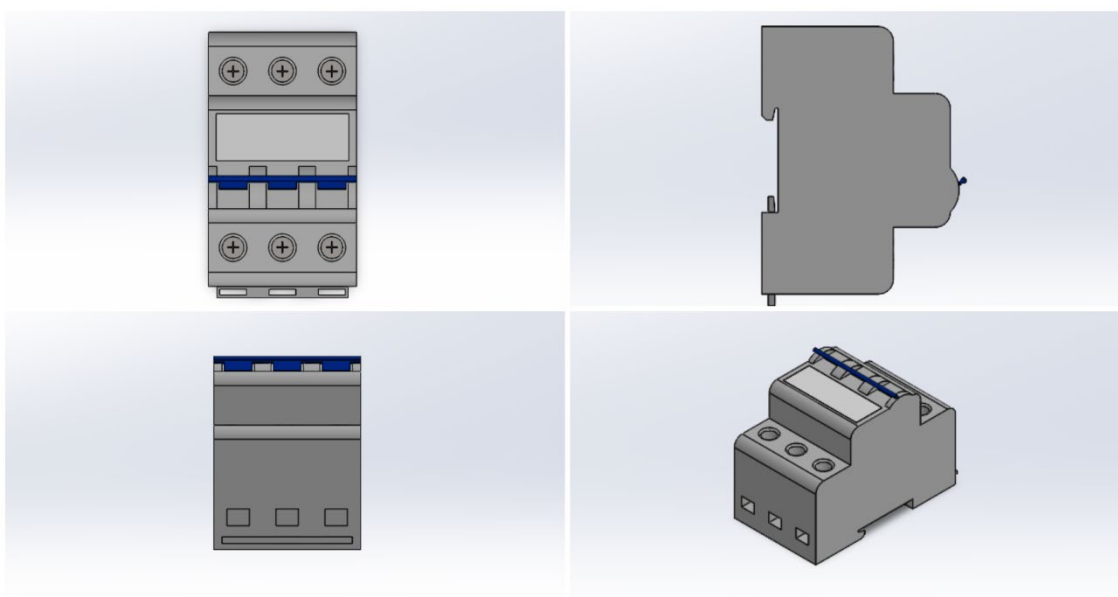
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 12 – 2C823800000000_CoindIFTO_MiniDisjuntorDIN_Bipolar_XA



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 13 – 2C823800000000_CoindIFTO_MiniDisjuntorDIN_Tripolar_XA



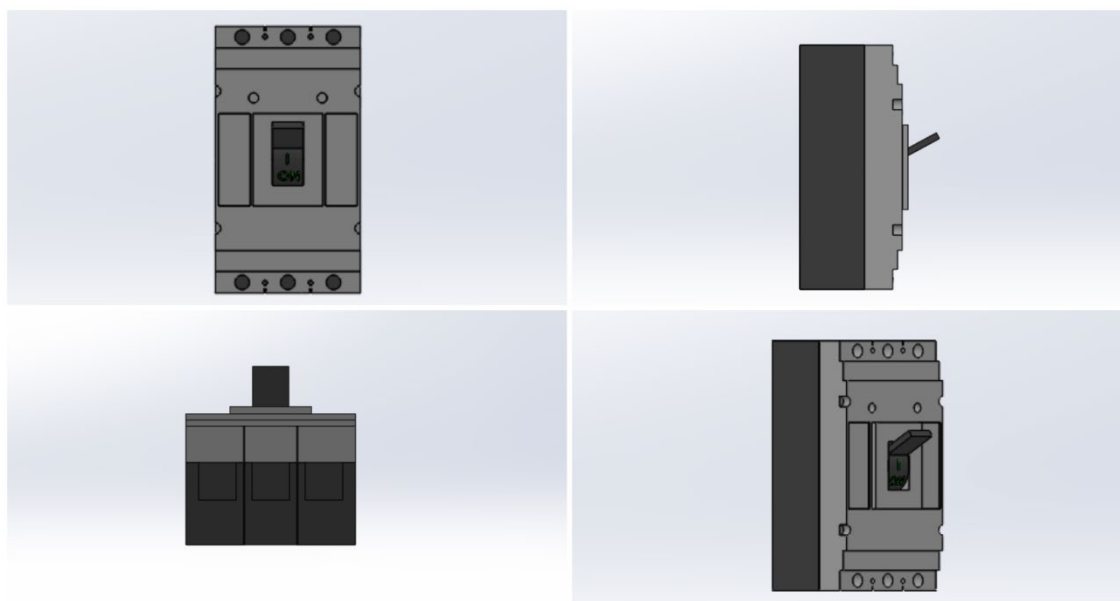
Fonte: Autoria própria (2024)

Os minidisjuntores DIN modelados estão no formato genérico, podendo representar qualquer tipo de marca ou modelo do tipo citado. Dessa forma, para representar fielmente as características da peça desejada, se faz necessário a edição das informações como: marca do fabricante, corrente nominal do disjuntor e a curva de atuação para parametrização.

4.1.2. Disjuntor em caixa moldada

O disjuntor em caixa moldada foi modelado em seu padrão genérico no tipo tripolar, baseado na geometria comercial fabricada para quadros e painéis de comando e força. Na Figura 14, representado a peça modelada em seus vários planos de visualização.

Figura 14 – 2C823800000000_CoindIFTO_DisjuntorCaixaMoldada_Tripolar_XA



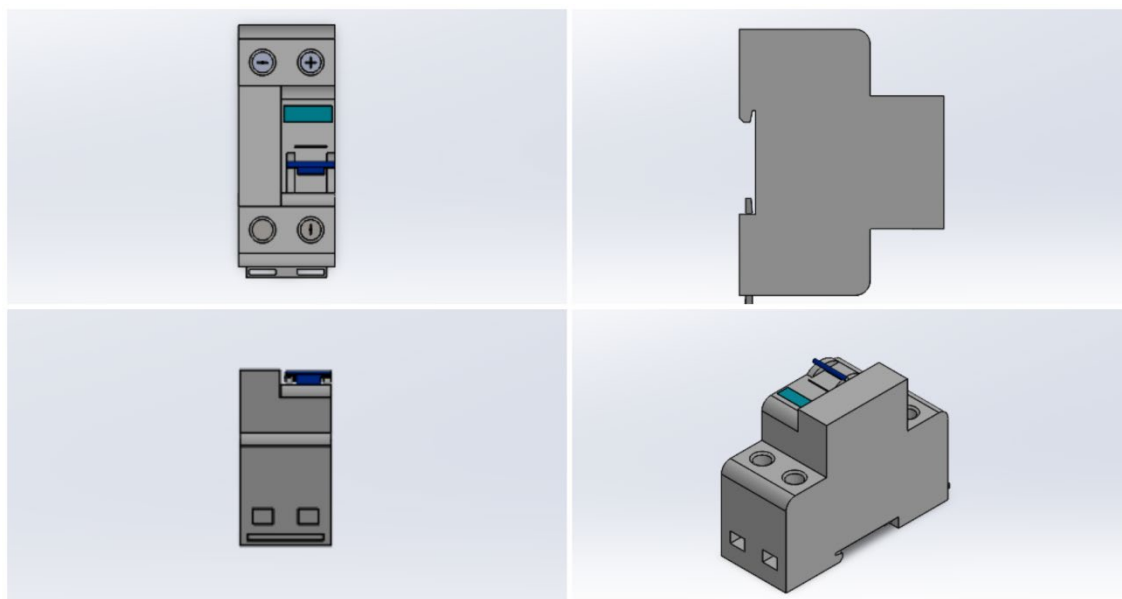
Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.3. Dispositivo diferencial-residual DIN

Os DRs foram modelados em três tipos genéricos distintos, sendo eles: bipolar, tripolar e tetrapolar. Conforme é ilustrado nas Figuras 15, 16 e 17, o DR apresenta características similares à geometria do minidisjuntor DIN, entretanto, é possível notar que foram acrescentados detalhes intrínsecos à forma dos dispositivos diferenciais-residuais, de maneira a poder distinguir ambos dispositivos em um quadro de distribuição.

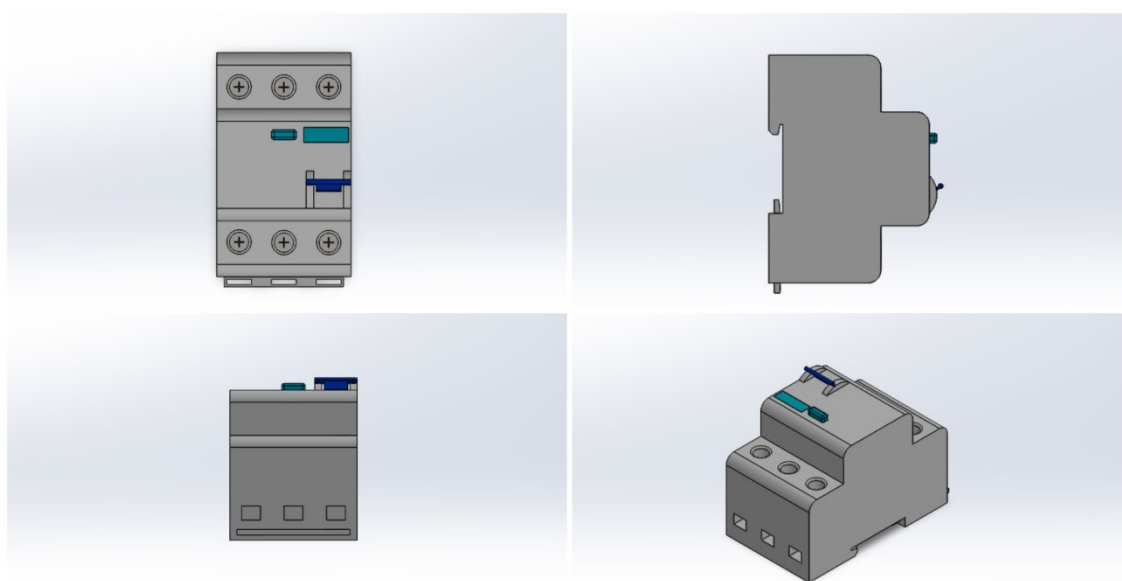
Para diferenciação entre cada tipo de DR em sua família de componentes, foram empregadas, da mesma forma que nos minidisjuntores, duas características principais: quantidade de polos e corrente nominal do dispositivo, em amperes. Para as peças genéricas apresentadas nas figuras abaixo, a corrente é ilustrada com o coeficiente genérico “X”, sendo que em peças específicas poderá apresentar valores em sua forma real, como 16A, por exemplo.

Figura 15 – 2C825600000000_CoindIFTO_DispositivoDR_Bipolar_XA



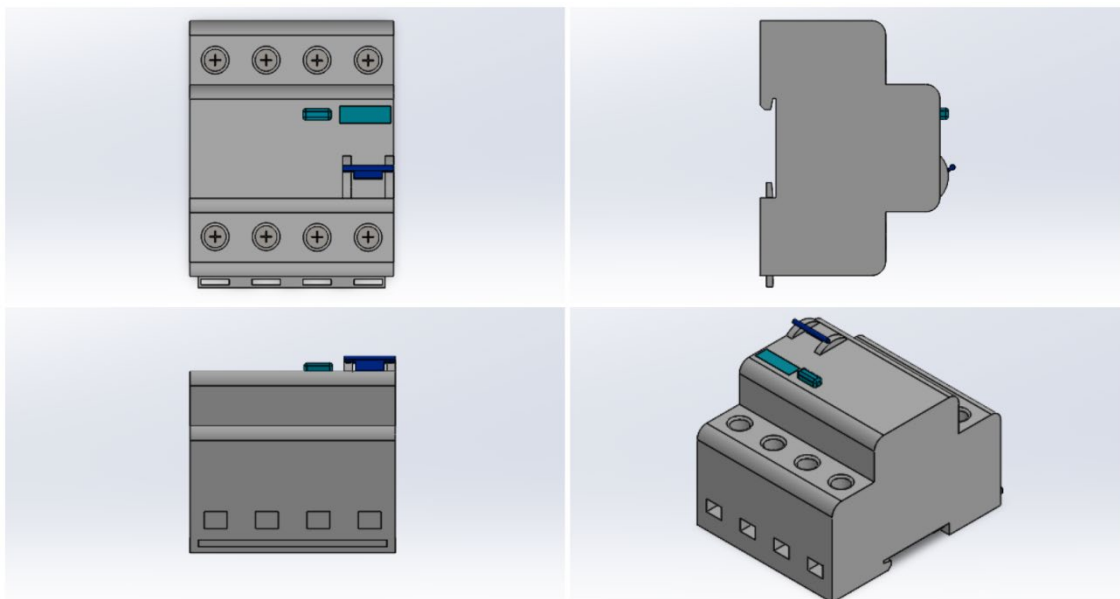
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 16 – 2C825600000000_CoindIFTO_DispositivoDR_Tripolar_XA



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 17 – 2C825600000000_CoindIFTO_DispositivoDR_Tetrapolar_XA

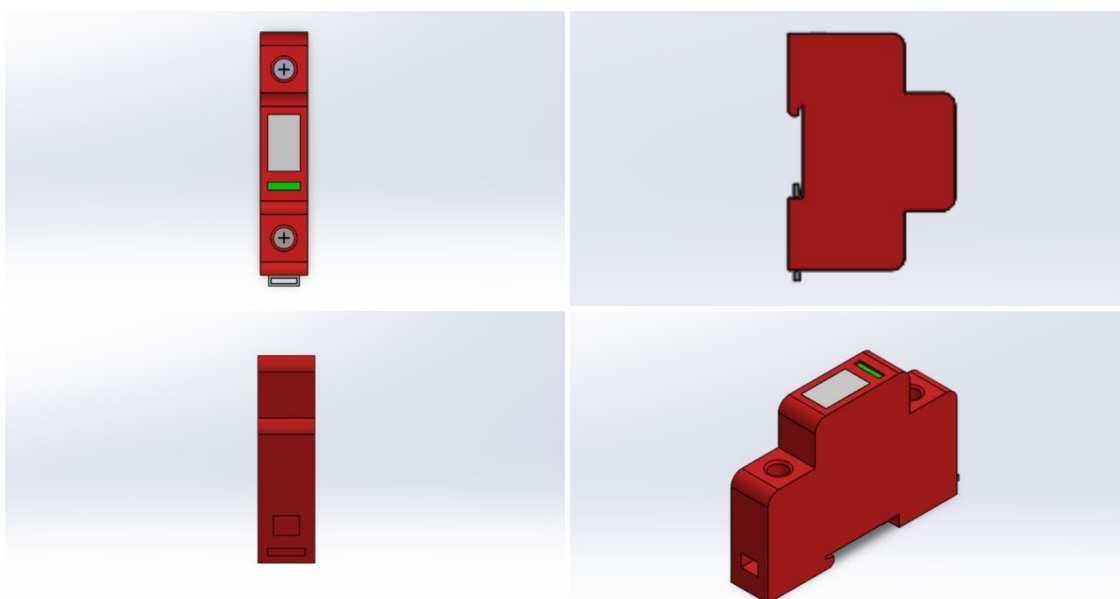


Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.4. Dispositivo de proteção contra surtos DIN

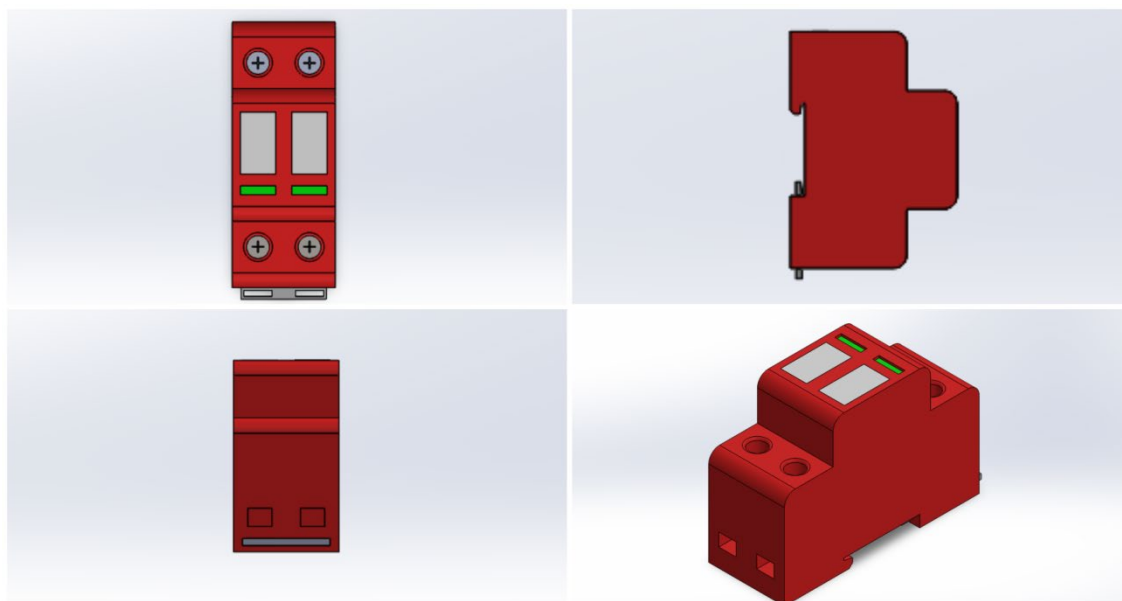
Os DPSs foram modelados nas versões monopulares e bipolares, no padrão genérico do componente. As Figuras 18 e 19 apresentam os dois modelos de DPS, monopolar e bipolar, respectivamente.

Figura 18 – 2C825614000000_CoindIFTO_DPS_Monopolar_XkA



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 19 – 2C825614000000_CoindIFTO_DPS_Bipolar_XkA

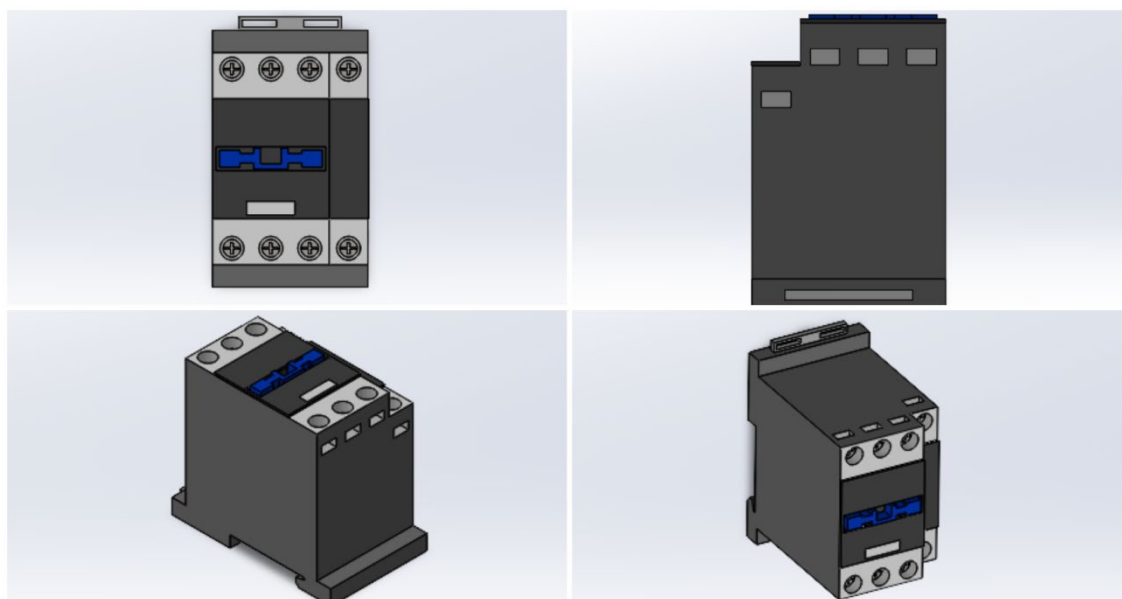


Fonte: Autoria Própria

4.1.5. Contator de potência e auxiliares

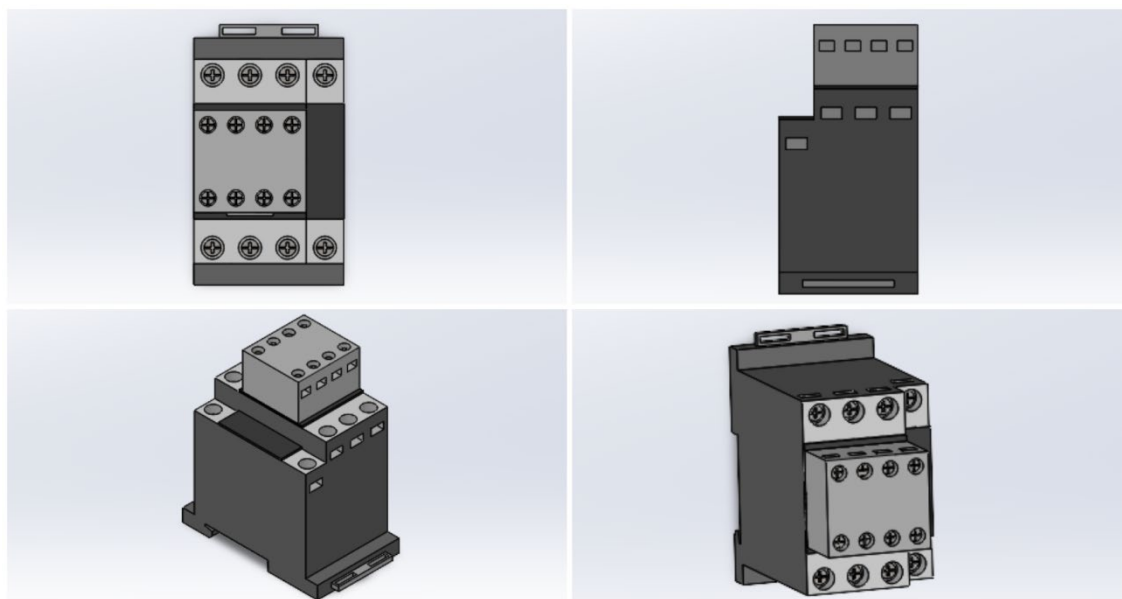
As Figuras 20 e 21 representam, respectivamente, o contator de potência modelado de forma isolada e a versão deste mesmo contator acoplado a um bloco de contatos auxiliares.

Figura 20 – 2C824800000000_CoindIFTO_Contator_Potência_XA



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 21 – 2C824800000000_CoindIFTO_Contator_PotênciaEAuxiliares_XA

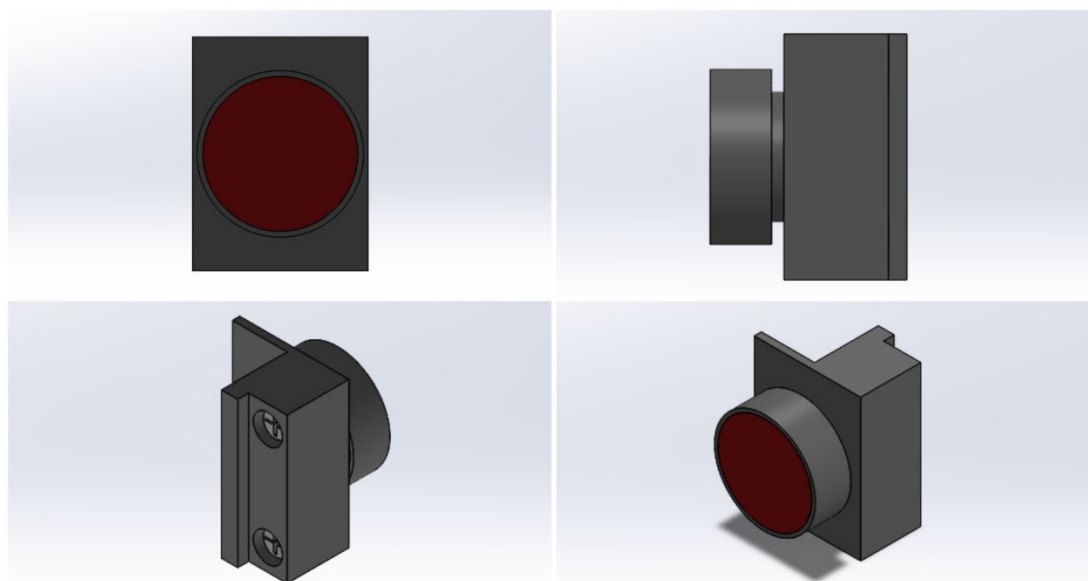


Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.6. Botoeiras

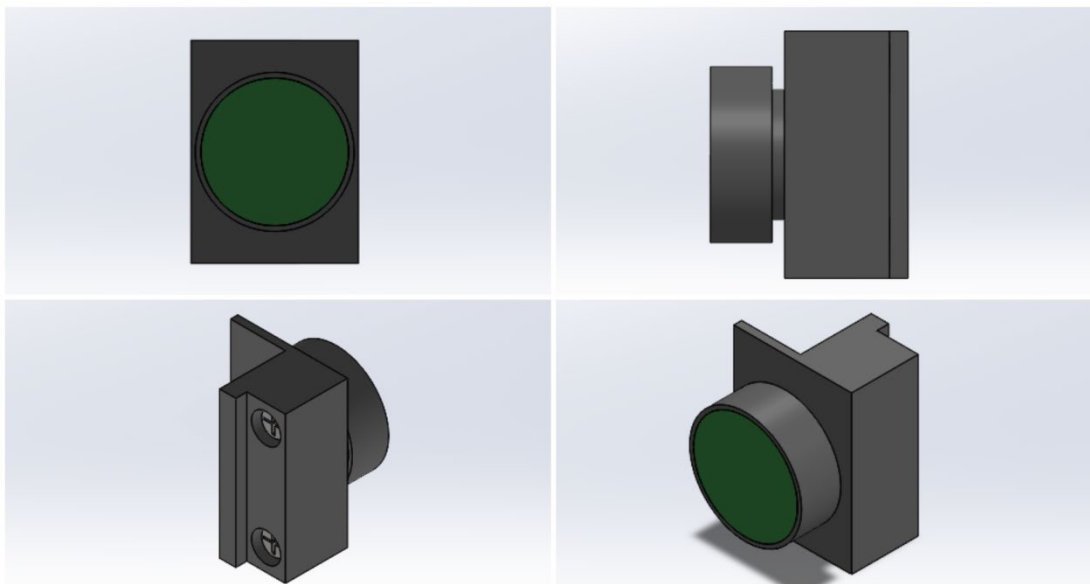
As botoeiras foram modeladas em geometria genérica, tendo como principal característica a cor de seu botão do tipo impulso. Dessa forma, como meio de identificação das botoeiras no presente trabalho, a cor será o elemento principal para esse componente. A Figura 22 apresenta uma botoeira de cor vermelha e a Figura 23 uma botoeira verde.

Figura 22 – 2C825200000000_CoindIFTO_Botoeiras_Impulso_Vermelha



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 23 – 2C825200000000_CoindIFTO_Botoeiras_Impulso_Verde

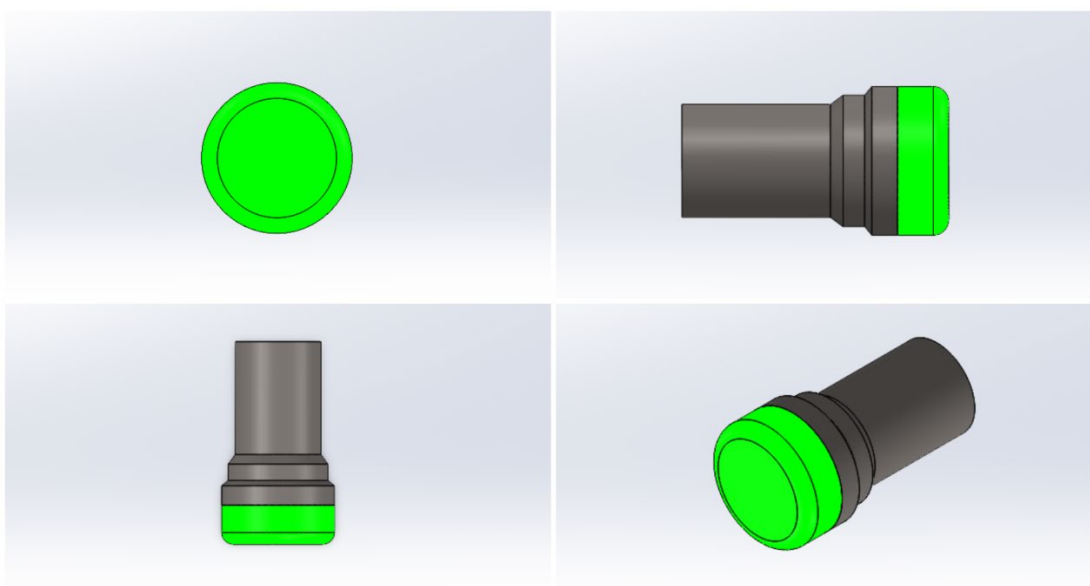


Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.7. Sinais LED

Da mesma forma que as botoeiras, os sinais LED apresentam a característica principal como sendo a cor do LED em sua face. Sendo assim, a forma de caracterização do componente em sua família é baseada na indicação final da sua TAG, como por exemplo o sinalizador de cor verde apresentado na Figura 24.

Figura 24 – 2C827210000000_CoindIFTO_Sinalizador_LED_Verde

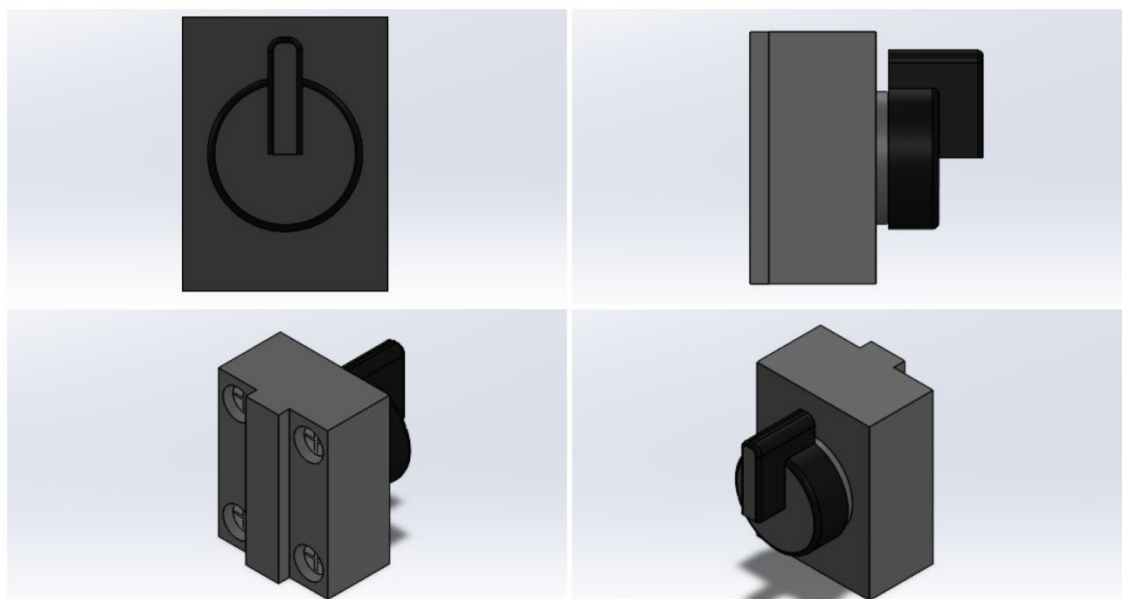


Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.8. Chave seletora

A chave seletora modelada é do tipo 3 posições, tendo como posição padrão a direção central do componente. Neste caso em específico, a família de chaves seletoras contará apenas com um único modelo, que é apresentado na Figura 25.

Figura 25 – 2C82520000000_CoindIFTO_ChaveSeletora_3posicoes_NA



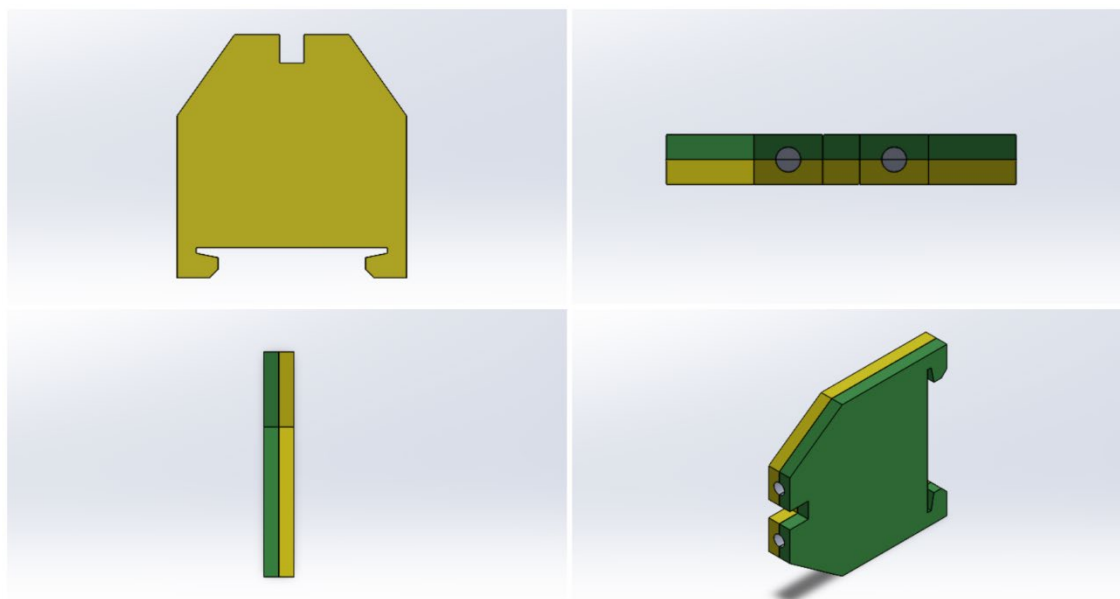
Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.9. Bornes de conexão

Para a modelagem dos *bornes* de conexão, dividiu-se a família em dois tipos de *borne*, sendo eles: o de passagem (para trilhos DIN) e o do tipo banana (usado em tampas). Os *bornes*, também conhecidos como conectores ou terminais elétricos, são componentes que diferenciam entre si pela sua geometria (relativa ao tipo), pela sua cor (finalidade) e pela bitola dos condutores que esses componentes suportam.

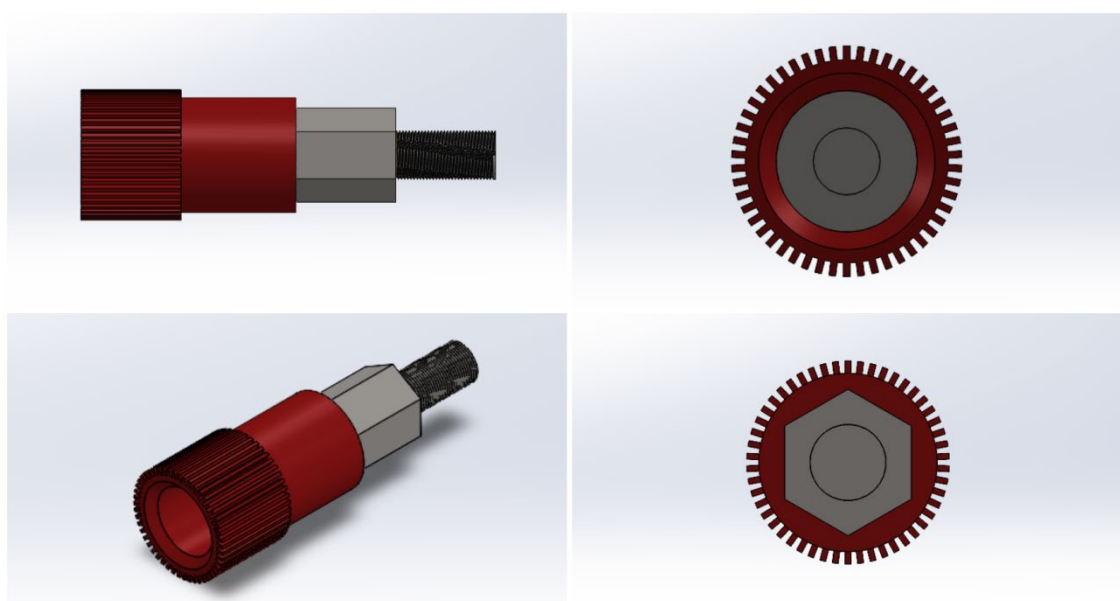
Na presente família de componentes de *bornes*, foram empregados apenas 2 dos três tipos de características dessas peças, sendo o tipo (passagem ou banana) e a cor (cinza, azul e verde/amarelo). A Figura 26 apresenta o conector do tipo passagem verde/amarelo, utilizado para condutores de proteção. Já a Figura 27 expõe o conector do tipo banana na cor vermelha, utilizado para fiação e condutores fase.

Figura 26 – 2C824406000000_CoindIFTO_Conector_Passagem_VerdeAmarelo



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 27 – 2C824406000000_CoindIFTO_Conector_Banana_Vermelho



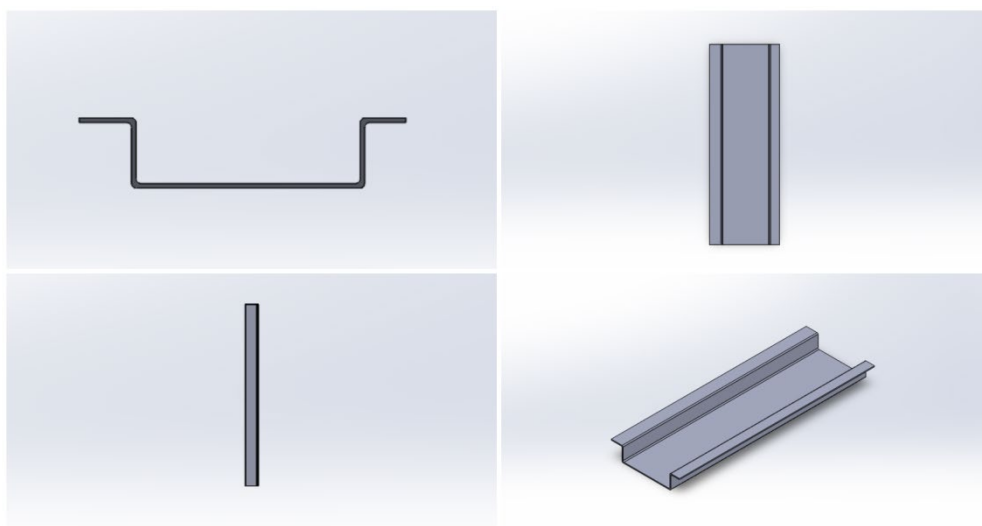
Fonte: Autoria própria (2024)

Devido à facilidade de trabalhar com objetos já parametrizados, outras características podem ser implementadas para o enriquecimento das famílias, como por exemplo, a atualização dos conectores para atender novos tipos de bitolas de condutores. Na presente família, os conectores apresentam abertura nominal para suportar condutores de até 4 mm².

4.1.10. Trilho DIN

A Figura 28 apresenta a geometria do trilho DIN modelado no presente trabalho, feito conforme padrão comercial.

Figura 28 – 2C921406000000_CoindIFTO_Trilho_DIN_Xcm

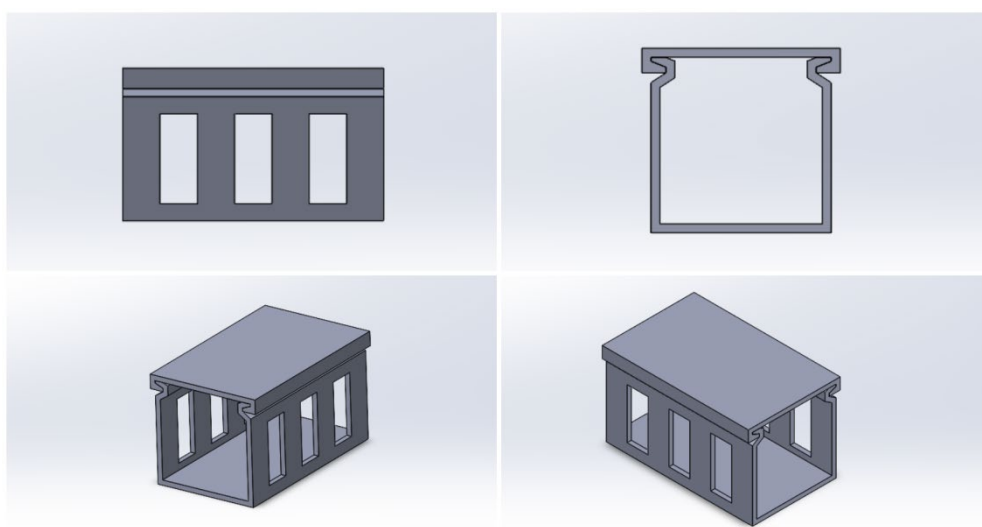


Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.11. Canaleta de PVC

A Figura 29 apresenta a canaleta de PVC modelada em BIM, feita conforme padrão comercial com furos e com tampa, apropriada para quadros de distribuição.

Figura 29 – 2C824430100000_CoindIFTO_Canaleta_PVC_Xcm

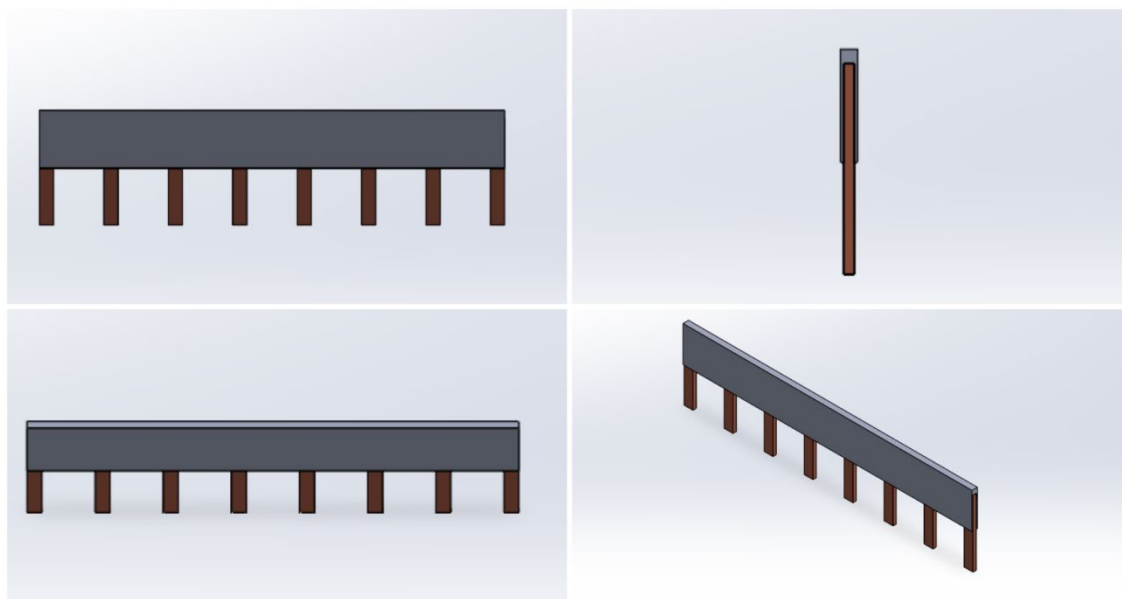


Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.12. Barramentos de cobre

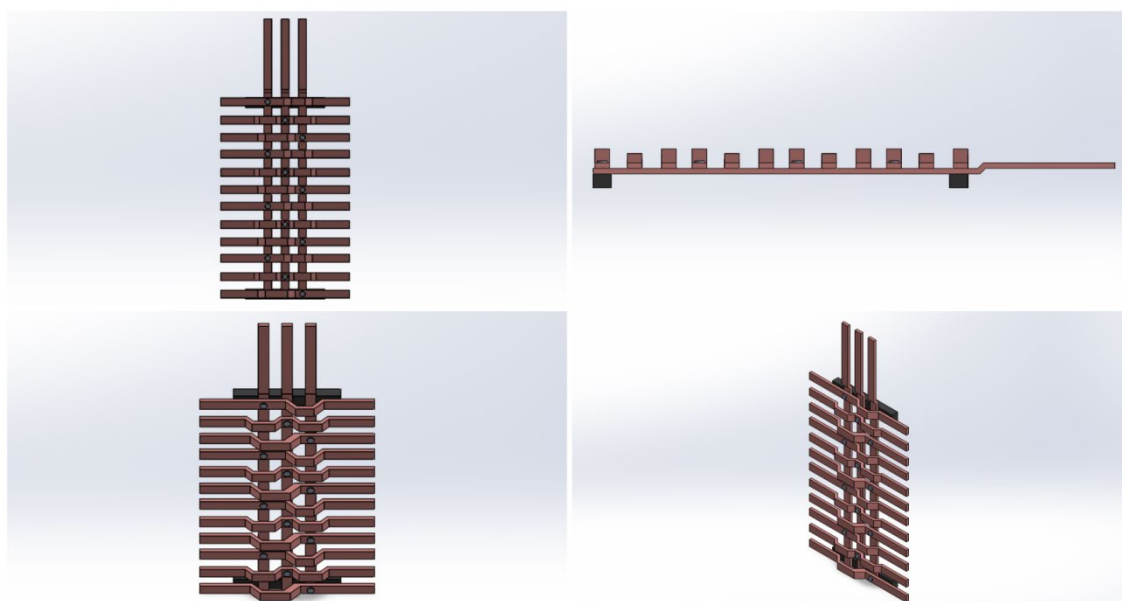
No presente trabalho, foram modelados 3 tipos de barramentos de cobre para quadros de distribuição, sendo eles: tipo pente, tipo espinha de peixe e tipo neutro/terra. Os diferentes tipos são apresentados nas Figuras 30, 31 e 32, respectivamente.

Figura 30 – 2C824046060000_CoindIFTO_Barramento_Pente_8espacos



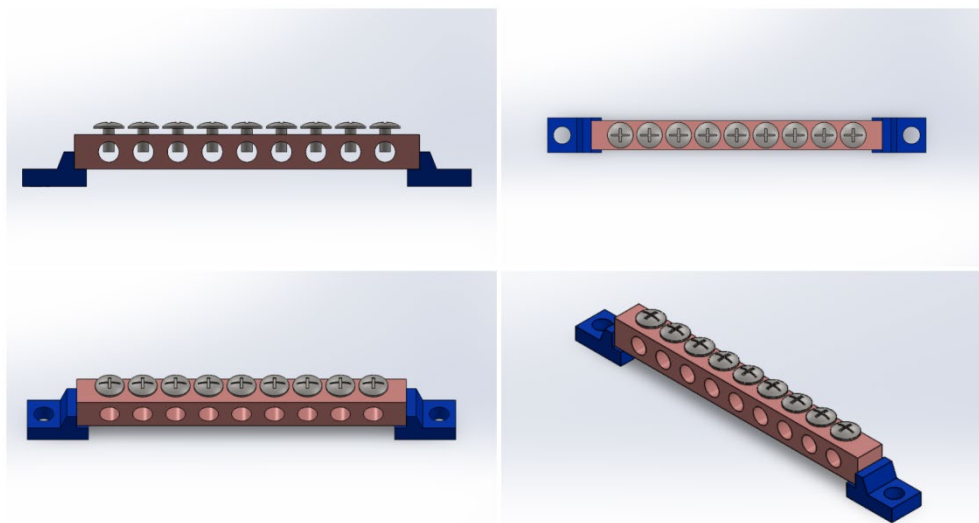
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 31 – 2C824046060000_CoindIFTO_Barramento3F_EspinhaPeixe_24espacos



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 32 – 2C824046060000_CoindIFTO_Barramento_Neutro_9espacos



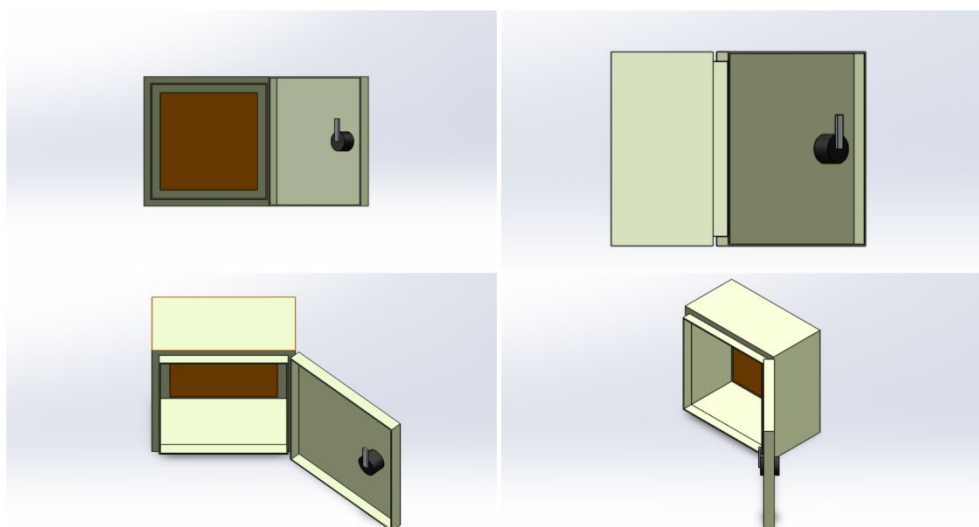
Fonte: Autoria própria (2024)

A família de barramentos apresenta também a peça do tipo espinha de peixe na forma para dois polos (barramento bifásico).

4.1.13. Quadros de distribuição

Os quadros foram modelados seguindo o padrão em chapa metálica, comum em quadros de distribuição para aplicações comerciais. A Figura 33 ilustra um dos quadros de sobrepor da família de quadros, com dimensões de 30x30x20 cm.

Figura 33 – 2C824038020000_CoindIFTO_QuadroMetálico_Sobrepor_303020cm



Fonte: Autoria própria (2024)

A família de quadros conta com quadros de diversas dimensões e formatos, apropriados para montagem de circuitos de comando e de força, bem como também para aplicações comerciais. Em virtude da forma paramétrica do quadro modelado, é possível obter facilmente quadros com “n” dimensões.

A nomenclatura padronizada dos quadros seguiu a seguinte lógica: primeiro espaço após o nome do responsável ficou destinado ao tipo de quadro (Ex.: Quadro metálico se torna “QuadroMetalico”), o segundo espaço ficou destinado à forma de fixação (sobrepôr ou embutir) e o terceiro espaço livre foi direcionado para informação das dimensões do quadro (Ex.: 30x30x30 cm se torna “303020cm”).

4.2. Quadro QD-GESEE

A montagem tridimensional do QD-GESEE foi realizada empregando os componentes em BIM apresentados na Tabela 3.

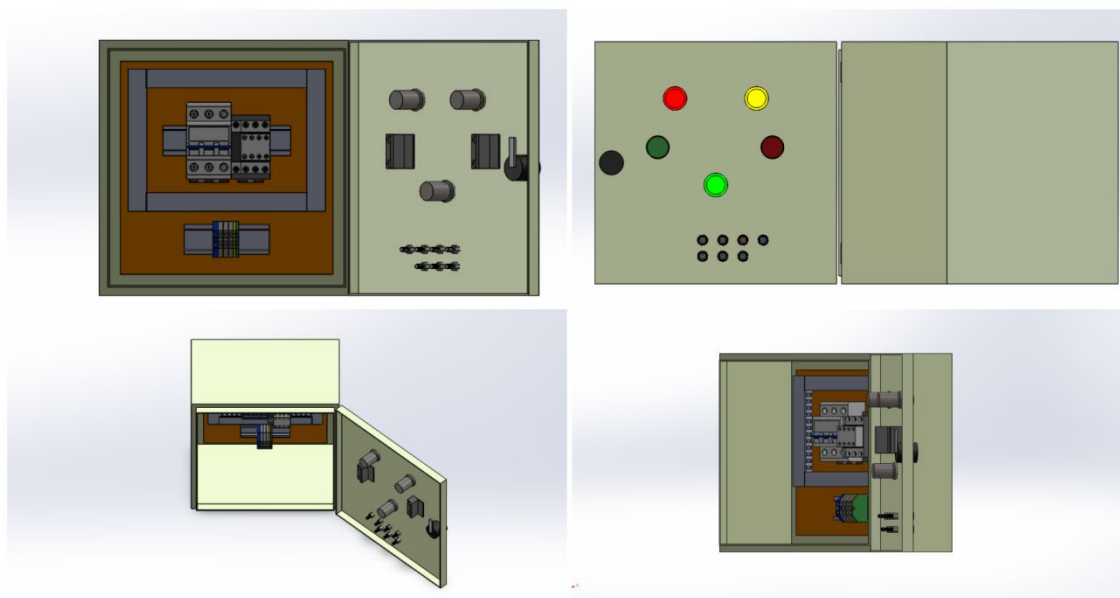
Tabela 3 – Componentes utilizados para montagem do QD-GESEE

Item	Característica	Quantidade
Botoeira	Verde	1
	Vermelha	1
Sinaleiro	Verde	1
	Vermelho	1
	Amarelo	1
Borne tipo banana	Vermelho	3
	Azul	1
	Preto	3
	Cinza	3
Borne tipo passagem	Azul	1
	Verde-amarelo	1
Minidisjuntor DIN 16A	Tripolar	1
Minicontator	Potência	1
	Auxiliar	1
Trilho DIN	-	2
Canaleta de PVC	-	4
Quadro metálico	30x30x20 cm	1

Fonte: Autoria própria (2024)

Para aumentar o nível de semelhança com o quadro original, foi aplicado o logotipo da STECK, marca do fabricante do disjuntor do QD-GESEE. Na Figura 34, é possível visualizar o quadro montado com todos os detalhamentos e itens do quadro original.

Figura 34 – QD-GESEE finalizado.



Fonte: Autoria própria

Conforme observado na Figura 34, o quadro elétrico modelado apresenta fielmente as características do quadro original, sendo possível conferir todos os itens e componentes que compõe o quadro original, sem a necessidade de ir ao local ou de realizar a abertura do quadro. Destaca-se também a facilidade de montagem e fabricação, haja vista que o profissional tendo em mãos o modelo tridimensional do quadro de referência, não terá questionamentos em relação aos processos a serem realizados.

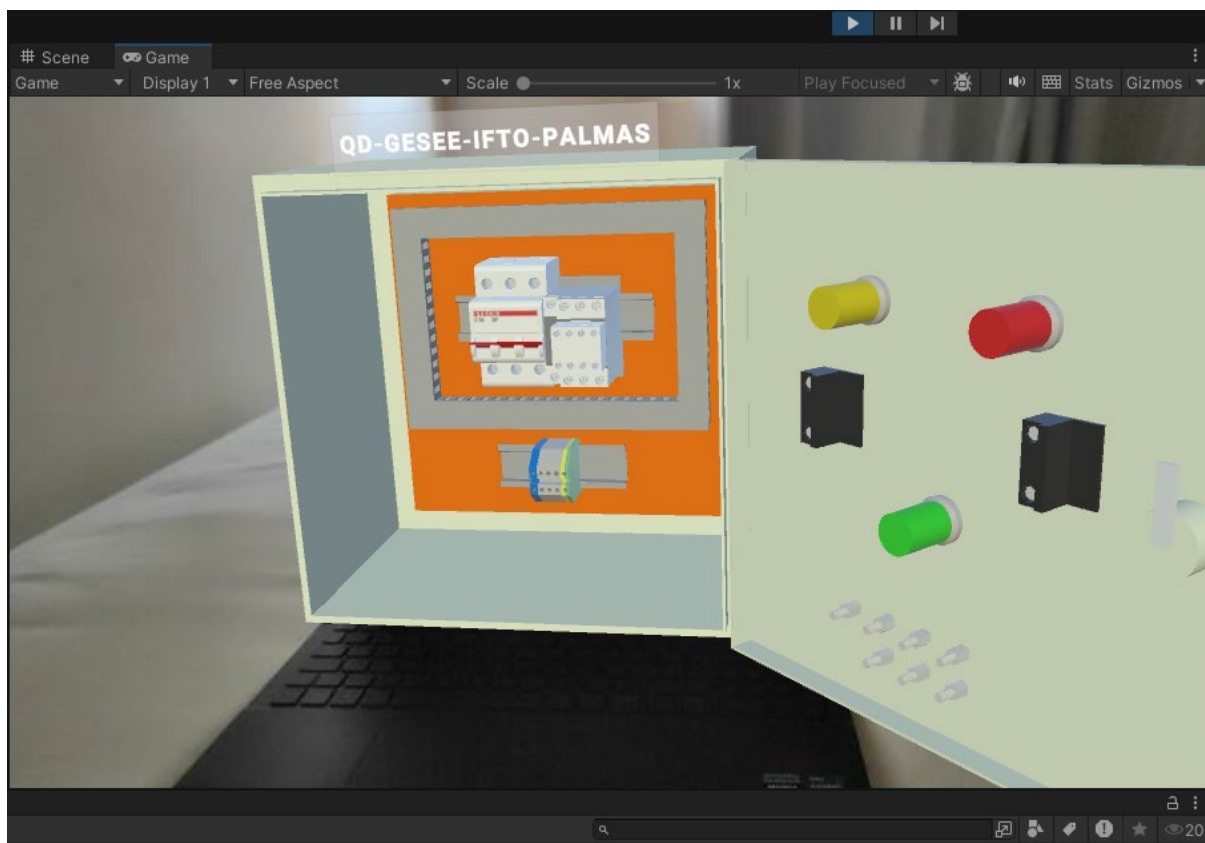
De mesmo modo, tais vantagens de modelos 3D podem ser verificadas em um estudo desenvolvido por Xavier et al., (2019). Os pesquisadores desenvolveram uma pesquisa com intuito de avaliar a importância da utilização de modelos tridimensionais em processos arquitetônicos. A pesquisa realizada empregou inicialmente dois grupos de participantes, o primeiro com modelos de referência feitos à mão e em CAD 2D, o segundo grupo por sua vez recebeu modelos com forma 3D para realização das tarefas. Ao fim da investigação, os pesquisadores salientaram que a modelagem tridimensional, quando aplicada de forma orientada e com embasamento teórico, é capaz de auxiliar nas tomadas de decisões e

desenvolvimento de um processo, haja vista que facilita etapas e contribui para o entendimento do projeto.

5. REALIDADE AUMENTADA COM O QD-GESEE

Com o modelo tridimensional do quadro em questão, foi realizada a etapa de integração do objeto 3D com a aplicação de desenvolvimento de realidade aumentada. Na Figura 35, é possível visualizar o aplicativo feito no Unity reconhecendo a imagem alvo e projetando o QD-GESEE na tela.

Figura 35 – QD-GESEE sendo projetado no ambiente de realidade aumentada



Fonte: Autoria própria (2024)

O resultado final do presente projeto é o arquivo ".APK" (pacote de aplicação Android) produzido a partir do Unity com os complementos de RA do Vuforia. A aplicação obtida apresentou desempenho satisfatório, reconhecendo bem o objeto alvo e efetuando a projeção do quadro modelado dentro dos níveis pretendidos. Ao aproximar e recuar a câmera do

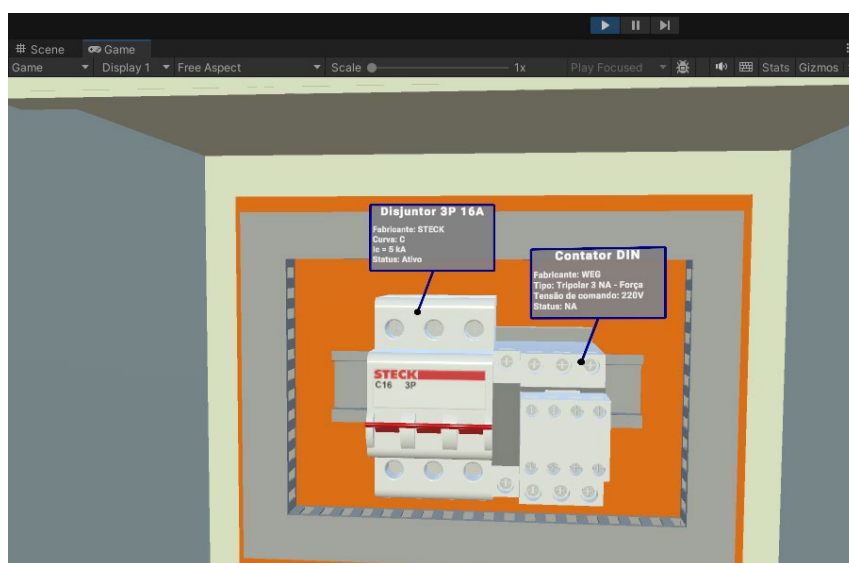
dispositivo, pode-se perceber uma transformação no objeto 3D, de maneira a se adaptar a escala do objeto alvo, pré-definida na parametrização do ambiente RA.

O teste apresentado na Figura 35 foi realizado com imagens do QD-GESEE no momento da parametrização inicial do ambiente de realidade aumentada e da construção da cena de visualização no aplicativo produzido. O desempenho satisfatório no reconhecimento do quadro em questão se deve principalmente ao fato de que a face frontal possui uma densidade de informações considerada como ótima pelos rastreadores “*tracker's*” do Vuforia Target, tornando a busca do *software* facilitada tanto em imagens quanto no objeto real a ser reconhecido.

Tendo como objetivo abrir caminhos e instigar propostas de trabalhos nessa mesma linha de pesquisa, realizou-se a introdução de balões flutuantes com algumas informações sobre o disjuntor e o contator de potência. Esses balões, comumente denominados “TAG’s”, possuem apenas função informativa no presente trabalho, entretanto, em trabalhos futuros poderão ser empregados para atualizar dados em tempo real dos componentes dos quadros de distribuição, servindo como uma ferramenta para a realização de supervisão de sistemas.

Os balões flutuantes desenvolvidos no presente trabalho estão apresentados na Figura 36. Ressalta-se ainda que para a correta exibição das TAG’s foi necessário a implementação de rotinas de programação, que, em trabalhos futuros, poderá ser atualizada para que altere as informações do texto em tempo real. A rotina de programação desenvolvida está disposta no Apêndice D.

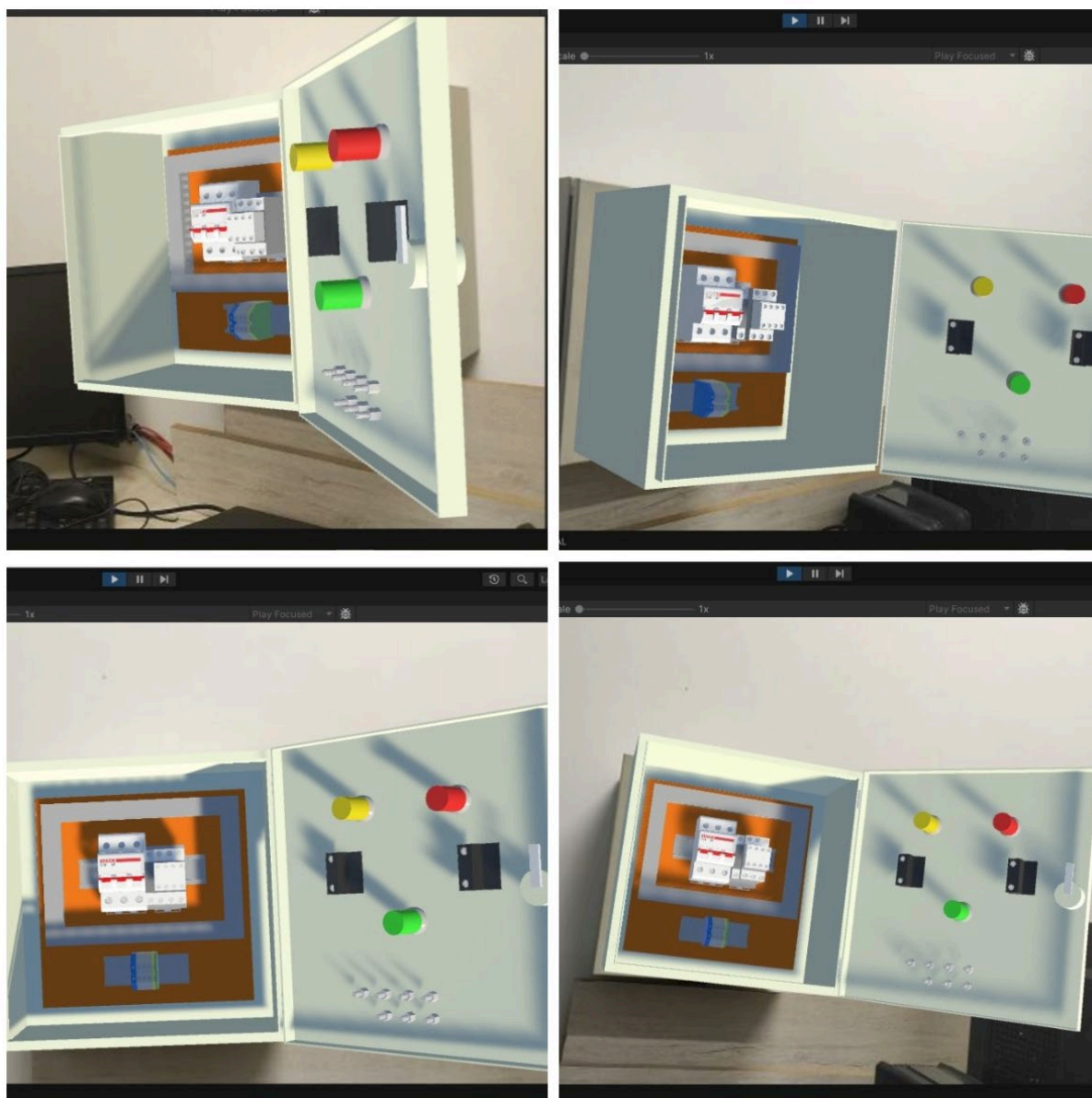
Figura 36 – Exibição dos balões flutuantes para informações



Fonte: Autoria própria (2024)

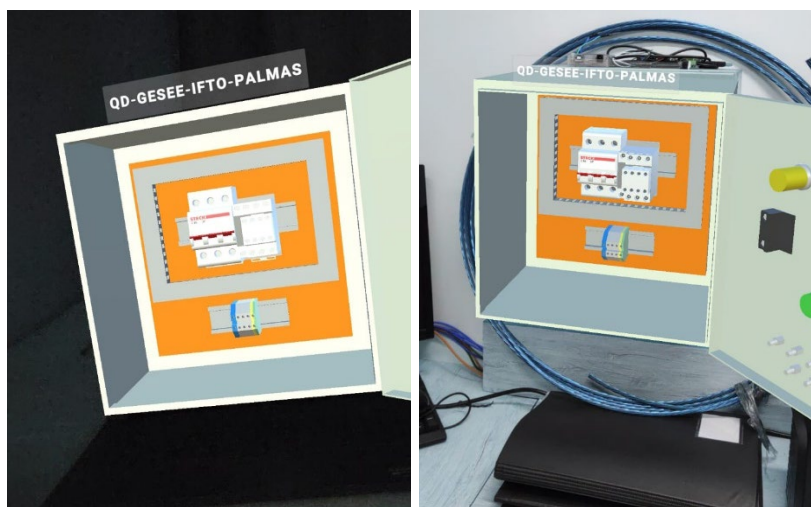
Os resultados obtidos com o quadro real da sala do Grupo de Estudos em Sistemas de Energia Elétrica do IFTO – Campus Palmas está apresentado na Figura 37. Já os resultados obtidos com a utilização do APK instalado no dispositivo são demonstrados na Figura 38.

Figura 37 – Várias vistas do QD-GESEE em RA



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 38 – Utilização do APK desenvolvido



Fonte: Autoria própria (2024)

É fácil perceber que o modelo desenvolvido condiz quase que completamente com o objeto real de referência. Conforme observa-se na literatura, nota-se que modelos tridimensionais e ambientes de realidade aumentada vêm sendo utilizados cada vez mais para a realização de treinamentos de equipe por parte das empresas, haja vista que utilizando modelos realistas, além de diminuir custos operacionais, o ensino e aprendizagem não é prejudicado.

Fuchter & Schlichting (2019) trabalharam com a utilização de RA voltada para o treinamento industrial, no qual peças mecânicas como motor a pistão e turbina a diesel eram projetados nas superfícies desejadas. Os pesquisadores avaliaram também o desempenho da equipe em treinamento ao manusearem as peças em RA, e, após os testes, destacaram que a tecnologia promoveu uma maior motivação e interesse dos funcionários em compreender o funcionamento físico dos motores após o uso do ambiente de RA.

Outra vantagem fundamental da utilização da RA para treinamentos de equipe é o baixo custo com aquisição de máquinas ou peças reais, haja vista que podem ser utilizados modelos de alta fidelidade de reprodução que não prejudicam a compreensão do ensino. Atualmente, vários setores trabalham com esse modelo de treinamento e ensino, sendo utilizado desde a sala de aula, até canteiros de obras da construção civil e no Sistema Elétrico de Potência com atividades profissionais em linhas de distribuição energizadas (PONTES, B; TORI, R; ACHUTTI, C., 2020; FUCHTER, S; SCHLICHTING, M., 2019; BORGES et al., 2019).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Trabalho de Conclusão de curso, foi proposto a criação de uma biblioteca de componentes de quadros de comandos elétricos a partir da metodologia BIM de modelagem. Como forma de demonstrar o uso e a aplicação dos componentes, criou-se uma aplicação emprega técnicas de Realidade Aumentada em conjunto com modelos tridimensionais em BIM, possibilitando a visualização imersiva de um quadro de comandos a partir de um dispositivo móvel e a face frontal do quadro em questão.

A criação de uma biblioteca de componentes elétricos 3D em BIM, aliada à capacidade de visualização em realidade aumentada, demonstra o potencial do presente trabalho tanto como uma ferramenta didática, decorrente da interação imersiva com o modelo tridimensional, quanto como uma metodologia alternativa para visualização de quadros de comandos elétricos. Destaca-se ainda, o alto ganho para a comunidade acadêmica do IFTO – Campus Palmas, que terá disponível de forma gratuita a biblioteca de famílias de componentes para a realização de estudos, treinamento e produção de projetos pessoais.

Além disso, a construção do QD-GESEE, empregando a biblioteca de componentes desenvolvida, validou a eficácia e a precisão da ferramenta de modelagem (Blender) e do programa para criação de cenas de RA (Unity-Vuforia), tornando possível a utilização em dispositivos android. A possibilidade de visualizar os quadros em um ambiente tridimensional interativo proporciona uma visão mais detalhada e informativa dos componentes, sem a necessidade de contato real com as peças, fato que evidencia o potencial da metodologia empregada como uma alternativa para complementação das formas de ensino convencionais.

Observa-se ainda, que além das contribuições técnicas e metodológicas do presente trabalho, é possível verificar que o trabalho desenvolvido colabora para a melhoria da interdisciplinaridade e para o avanço das inovações tecnológicas no campo da engenharia elétrica, haja vista que, embora crescente, a metodologia BIM ainda é pouca utilizada em ambientes de produção e na área de ensino, principalmente quando integrada com a RA. Sendo assim, espera-se que novos estudos e trabalhos sejam desenvolvidos, de maneira a aprimorar os processos e facilitar a disseminação de informações dessa área.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugerimos a realização de estudos visando à melhoria dos rastreadores de imagem em “recursos alvo” com poucos detalhes. A identificação de imagens alvo com poucos detalhes é fator preocupante no desenvolvimento de ambiente de RA com o Unity Vuforia, tendo em vista que, nessas situações, o objeto 3D apresenta um nível de cintilação elevado, prejudicando a experiência da visualização.

Por fim, pode-se afirmar que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados, seja na modelagem e na criação das bibliotecas de componentes elétricos, na montagem do Quadro de exemplo e na implementação do ambiente de RA com o modelo 3D, contribuindo dessa maneira tanto para divulgação novas formas de ensino e aprendizagem na capacitação de futuros engenheiros, quanto para o aprimoramento do processo de visualização de quadros de comandos elétricos.

6.1. Sugestões para temas futuros

Algumas propostas são colocadas para possíveis trabalhos futuros, são elas:

- Trabalho para desenvolvimento de novos componentes para outras aplicações na área de instalações elétricas, como barramento blindado e quadros para barramento blindado (“*busway*”);
- Desenvolvimento de um ambiente de realidade aumentada na Web para visualização de projetos de instalações elétricas;
- Desenvolvimento de um sistema para supervisão em tempo real da situação de componentes elétricos em quadros e em painéis de distribuição de energia elétrica;
- Realizar a integração do sistema supervisório desenvolvido no item anterior com um ambiente de realidade aumentada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, A., DIN, Z. U., & FAROOQUI, R. (2016). Integration of BIM in Construction Management Education: An Overview of Pakistani Engineering Universities. **Procedia Engineering**, 145, p. 151–157, 2016. DOI:10.1016/j.proeng.2016.04.034.

ABDI (2024). **Plataforma BIM BR**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2024. Disponível em: <<https://plataformabimbr.abdi.com.br/>>. Acesso em: 17/08/2024.

ABDI (2022). **Mapeamento Maturidade BIM no Brasil**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, setembro de 2022. Disponível em: <<https://plataformabimbr.abdi.com.br/>>. Acesso em: 17/08/2024.

ABNT (2021), NBR – Sistema de classificação da informação da construção, **Parte 4: Recursos da construção**, NBR 15965-4, 2021.

ABNT (2016), NBR - Conjuntos de manobra e comando de baixa tensão, **Parte 1: Regras gerais**, IEC 61439-1 2017

ABNT (2016), NBR - Conjuntos de manobra e comando de baixa tensão, **Parte 3: Quadro de distribuição destinado a ser utilizado por pessoas comuns (DBO)**. IEC 61439-3 2017

ABNT (2008), Norma Brasileira - **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**, NBR 5410:2004 versão corrigida, 2008.

ADDOR, Miriam. (2010). **BIM – Building Information Modeling**. ASBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. Encontro Regional, 2010.

AURELIANO-JÚNIOR, M. J. (2019). **Uso de Realidade Aumentada associada a Building Information Modeling para visualização de dados em ativos de Subestações de Energia Elétrica**. Programa de Pós-graduação (Dissertação de Mestrado) da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, 93p, Uberlândia, Minas Gerais, 2019. DOI: 10.14393/ufu.di.2019.2241

AZEVEDO, V. F. B., LIRA, H. F., MORAES, A. B., VASCONCELOS, B. (2023). Uso da realidade aumentada no ensino de projeto de engenharia civil. **arq.urb**, nº 36, p. 67-79, 2023. DOI: 10.37916/arq.urb.vi36.645.

BAZZO, W. A. (1998). Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica. Florianópolis: **Ed. da UFSC**, 1998.

BLENDERBIM (2024). **Documentação do BlenderBIM Add-on 0.7.11**. IfcOpenShell Contributors, 2024. Disponível em: <https://docs.blenderbim.org/>. Acesso em: 10/08/2024.

BLENDER CORP. (org.) (2023). **Blender: the software license**. The software license. 2023. Disponível em: <https://www.blender.org/about/license/>. Acesso em: 07 jun. 2023.

BORGES et al., (2019) Treinamentos utilizando a realidade aumentada e virtual: comparação da inovação e tradicionalismo na formação profissional. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Junho, 2019. ISSN: 1696-8352.

BOWER, M., HOWE, C., MCCREDIE, N., ROBINSON, A., & GROVER, D. (2014). Augmented Reality in education – cases, places and potentials. **Educational Media International**, 51(1), 1–15. DOI:10.1080/09523987.2014.889400

BRASIL (2024). **Decreto nº 11.888, de 22 de janeiro de 2024**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling - BIM BR. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2024. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Decreto/D11888.htm>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BRASIL (2021). **Lei 14.133, de 1º de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2021. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/14133.htm>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BRASIL (2020). **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BRASIL (2019). **Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2019. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BRASIL (2018). **Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018**. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2018. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9377.htm>. Acesso em: 17 ago. 2024.

CARMIGNIANI, J., & FURHT, B. (2011). **Augmented Reality: An Overview**. Handbook of Augmented Reality, 3–46. doi:10.1007/978-1-4614-0064-6_1

CARVALHO, A. L., BENICIO, W. M., MIRANDA, W. M., REBELLO, G. R., MARTINS, M. G. M. (2021). REALIDADE AUMENTADA APLICADA À TOMADA DE DECISÃO EM MANUTENÇÃO: desenvolvimento de um produto com fins educacionais. **XLI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENGEPP)**, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2021.

CATELANI, W. (2016). Fundamentos BIM – Parte 1: Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras. Brasília: **Gadioli Cipolla Branding e Comunicação**, 2016.

COSTA, L.R. (2016). **O USO DO BIM COMO FERRAMENTA NA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 41 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. (2014) Manual de BIM. 1ª ed. Porto Alegre: **Editora Bookman**, 2014

FUCHTER, S. K., SCHLICHTING, M. S. (2019) Utilização da realidade virtual voltada para o treinamento industrial. **Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento**. Ano 03, ed. 10, vol. 07, pp. 113-120 Outubro de 2018. ISSN:2448-0959. DOI:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/realidade-virtual

GONZAGA, A. (2021). **Conheça as 7 dimensões do BIM e suas vantagens**. 2021. Disponível em: <https://orcafascio.com/papodeengenheiro/dimensoes-do-bim/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

HEINZEL, A., AZHAR, S., NADEEM, A. (2017). **Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase**. The Ninth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-9), March 5th-7th, 2017, Dubai, United Arab Emirates, 2017.

JUSTI, A. (2021). **A história do BIM no Brasil**. Alex Justi, BIM BRASIL, 2021. Disponível em: <<https://alexjusti.com/bim-brasil/>>. Acesso em: 17/08/2024.

LOMBARDI, M., RIZZI, D. (2024). **Semantic Modelling and HBIM: A New Multidisciplinary Workflow for Archaeological Heritage**. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, vol. 32, março de 2024, p. e00322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00322>.

LOPES, L. M. D., VIDOTTO, K. N. S., POZZEBON, E., FERENHOF, H. A. (2019) INOVAÇÕES EDUCACIONAIS COM O USO DA REALIDADE AUMENTADA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 35, e 197403, 2019. DOI: 10.1590/0102-4698197403

MALEWCZYK, M. (2021). The Usage of the openBIM Idea in Architectural Design on the Example of Blender and BlenderBIM Add-On. **Architectus**, nº 2(66), 2021. DOI: <https://doi.org/10.37190/arc210210>.

MASOTTI, L.F.C. (2014). **Análise da implementação e do Impacto do BIM no Brasil**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Santa Catarina: 2014.

MENEZES, G.L.B.B. (2011). “**Breve histórico de implantação da plataforma BIM**”. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, vol. 18, no 22, 2011, p. 152–152. DOI: 10.5752/P.2316-1752.2011v18n22p152.

MEŽA, S., TURK, Ž., DOLENC, M. (2014). Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. **Automation in construction**, 42, 1-12, 2014.

METRAGLIA, R., et al. (2013). “Development of a Self-Assessment Questionnaire for Basic

Technical Drawing Skills: A Preliminary Study”. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, vol. 106, dezembro de 2013, p. 848–59. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.12.097.

MOLNÁR, G., SZÚTS, Z., BIRÓ, K. (2018). Use of Augmented Reality in Learning. *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 15, No. 5, 2018.

NASCIMENTO, R. A. (1996). **O ensino do desenho na educação brasileira: apogeu e decadência de uma disciplina escolar**. In: GRAPHICA 96, Florianópolis, 1996. Anais. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, ETFSC, ABPGDDT, 1996, p.15-25.

NEIL-CALVERT (2013) **10 points and the benefits of bim**. *Synchro Software*. In: COSTA, L.R. (2016). O USO DO BIM COMO FERRAMENTA NA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. 41 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

NETTO, C. C. (2016) Autodesk Revit Architecture 2016 – Conceitos e Aplicações. 1. ed. São Paulo: **Saraiva**, 2016.

PEREIRA, N. J. (2017) **UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM NO DESENHO ARQUITETÔNICO: UM ESTUDO DE CASO**. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

PESSÔA, R.R.P. (2017). **ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA MODELAGEM BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE GRANDE PORTE**. 99 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

PUJASTUTI, H., HARYADI, R. (2024) The Effectiveness of Using Augmented Reality on the Geometry Thinking Ability of Junior High School Students. **Procedia Computer Science**, vol. 234, 2024, p. 1738–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.180>.

SANTOS, E. T.; CATELANI, W. S. (2017). **Normas brasileiras sobre BIM - parte 2: componentes BIM**. *Concreto & Construções*, São Paulo, v. 44, jan./mar. 2017, p. 55-59, 2017.

SERRA, S. M. B. (2013). **BREVE HISTÓRICO DO DESENHO TÉCNICO**. Santa Catarina: Expressão Gráfica Para Engenharia, 2008. Apostila do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar. 2013.

SILVA, A. C., CARDOSO, A., LAMOUNIER-JR, E. A., BARRETO-JR, C. L., AZEVEDO, D. M., CYRINO, G. F., LIMA, G. F. M., RAMOS, D. S., FERREIRA, J. N. F. (2020). Virtual Reality for Monitoring and Control of Electrical Power. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2020**, sbabra, 2020. DOI: 10.48011/sbse.v1i1.2217.

SILVA, J.C. (2001). **Aprendizagem mediada por computador: uma proposta para desenho técnico mecânico**. 231f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2001.

SIMON, J. (2023) Augmented Reality Application Development Using Unity and Vuforia. **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, vol. 21, no 1, 2023, p. 69–77. DOI:<https://doi.org/10.7906/indecs.21.1.6>.

SOBRINHO-JUNIOR, J. F., & MESQUITA, N. A.S. (2023) A realidade aumentada como interface de integração com o livro didático. **Educação e Pesquisa**, vol. 49, 2023, p. e257018. DOI: 10.1590/s1678-4634202349257018.

FARIAS, C. L. (2019) **APLICAÇÃO DO GOOGLE CLASSROOM COMO FERRAMENTA DE APOIO NO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NO ENSINO TÉCNICO INTEGRADO AO MÉDIO**. 24th Seminário Internacional de Educação, Tecnologia e Sociedade: Ensino Híbrido. Núcleo de Educação On-line, FACCAT, 2019.

VAN-BEURDEN, et al. (2024) How Dutch Higher HRM Education Prepares Future HR Professionals for the Impact of Technological Developments. **The International Journal of Management Education**, vol. 22, no 1, p. 100916, 2024. DOI: 10.1016/j.ijme.2023.100916.

VARAS, J., et al. (2023) Innovations in surgical training: exploring the role of artificial intelligence and large language models (LLM). **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, vol. 50, 2023, p. e20233605. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-6991e-20233605-en>.

PAN, X., et al. (2024) BIM Adoption in Sustainability, Energy Modelling and Implementing Using ISO 19650: A Review. **Ain Shams Engineering Journal**, vol. 15, no 1, p. 102252, 2024. DOI: 10.1016/j.asej.2023.102252.

PONTES, B., TORI, R., ACHUTTI, C. (2020) **Estudo teórico de Design Instrucional para utilização de Realidade Virtual no treinamento de atividades profissionais em linhas energizadas de distribuição**. Anais dos Trabalhos de Conclusão de Curso. Pós-Graduação em Computação Aplicada à Educação Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, USP, São Paulo, v.1, 2020.

REISSLEIN, M., MORENO, R., & OZOGUL, G. (2010). Pre-college Electrical Engineering Instruction: The Impact of Abstract vs. Contextualized Representation and Practice on Learning. **Journal of Engineering Education**, 99(3), 225–235, 2010. DOI:10.1002/j.2168-9830.2010.tb01058.x

NASCIMENTO, D.L.M. (2021) **Normatização BIM: a importância das normas ISO na aplicação da tecnologia**. CERTI, 2021. Disponível em: <<https://certi.org.br/blog/normatizacao-bim/>>. Acesso em: 21 jun. 2024

SANTOS, L.R.S. (2023) **Modelagem da Informação da Construção (BIM): A Importância do BIM na Gestão de Ativos para o Sucesso das Políticas Públicas**. VIII Fórum Nacional das Transferências e Parcerias da União, Parcerias e diálogos para melhoria da governança e da gestão das políticas públicas. Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos, Governo Federal, Brasil, 2023.

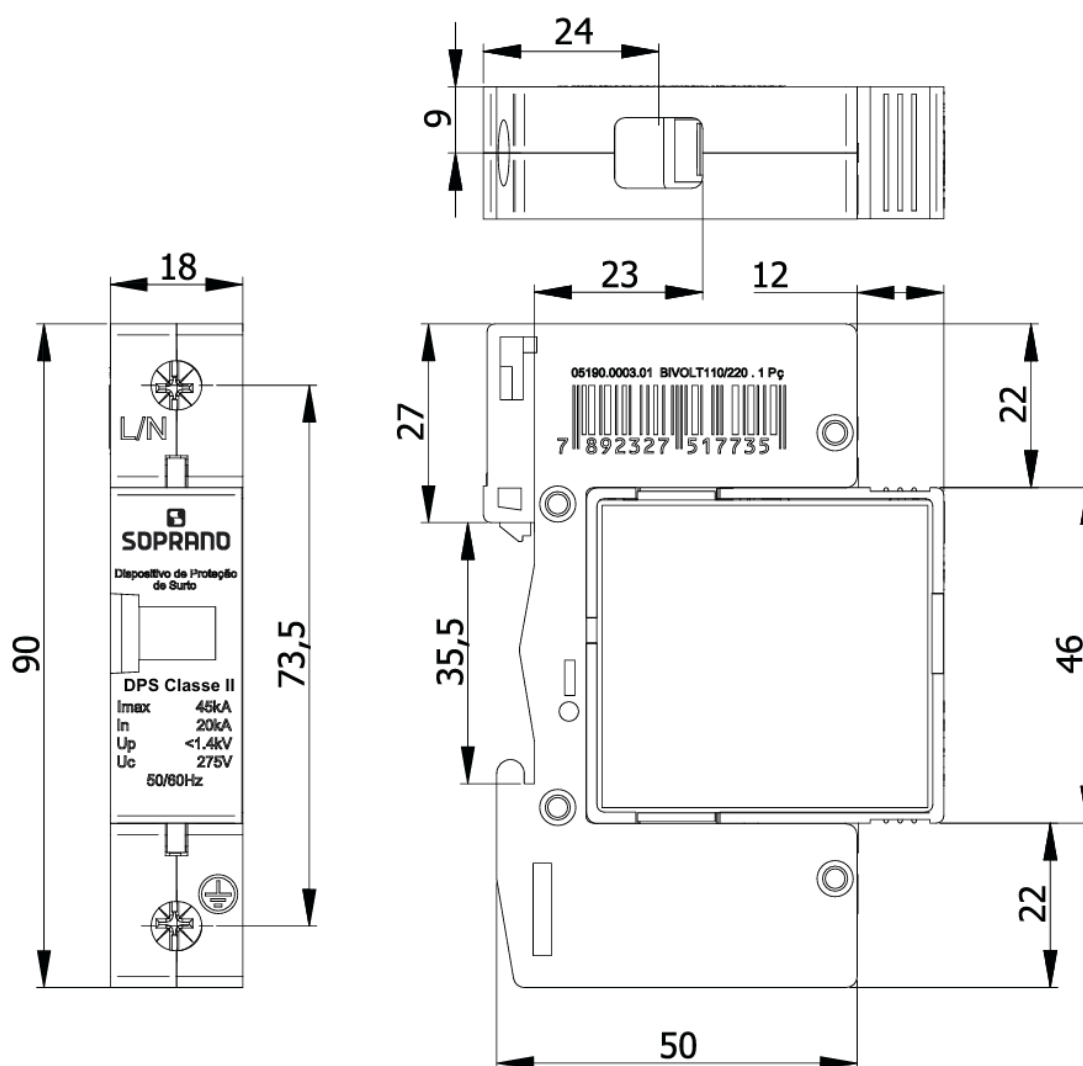
XAVIER, L.G.S.; JANUÁRIO, P.M.G.; ARAÚJO, R.S.; XAVIER, J.F.M.; MIRANDA, R.N. A modelagem 3D como auxílio do processo criativo de ensino de projeto de Arquitetura.

Revista Perspectivas Online: Humanas & Sociais Aplicadas, v.9, n.26, p.163-170, 2019.
DOI: 10.25242/8876926201891

APÊNDICE A – TUTORIAL BÁSICO PARA MODELAGEM DE COMPONENTES

Este apêndice apresenta o tutorial básico para modelagem de qualquer tipo de componente elétrico de interesse no programa Blender. O primeiro passo para modelagem consiste na busca por informações acerca da geometria do objeto a ser modelado, que pode ser encontrado em catálogos de fabricantes, folhas de dados, arquivos de imagem na internet ou até um esboço feito à mão (com as devidas cotas dimensionais). Para o presente exemplo de modelagem, foi utilizado o modelo de DPS unipolar da SOPRANO, no qual se utilizou da imagem de referência da Figura 39.

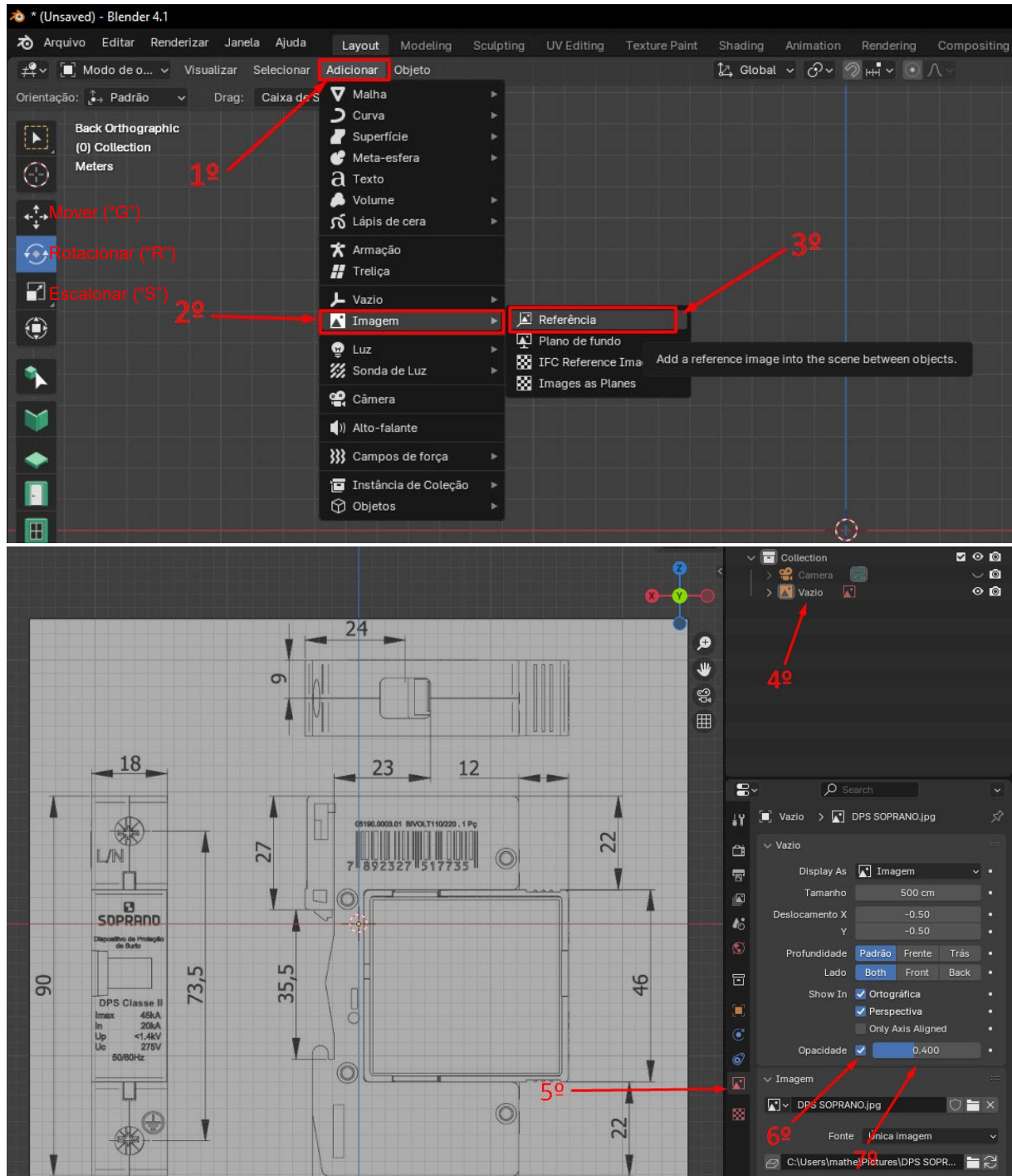
Figura 39 – Imagem de referência



Fonte: https://www.soprano.com.br/energia/protecao/dps/05190.0003.01_dispprotsurto-45ka-classe-ii-dps1

Após o download da imagem de referência, será necessário abrir o Blender e inserir a imagem de referência na área de trabalho do programa. Para adicionar a imagem, é necessário escolher um plano (“x” “y” ou “z”) para que a imagem seja inserida de forma correta. O passo a passo de para adicionar a imagem é apresentado na Figura 40.

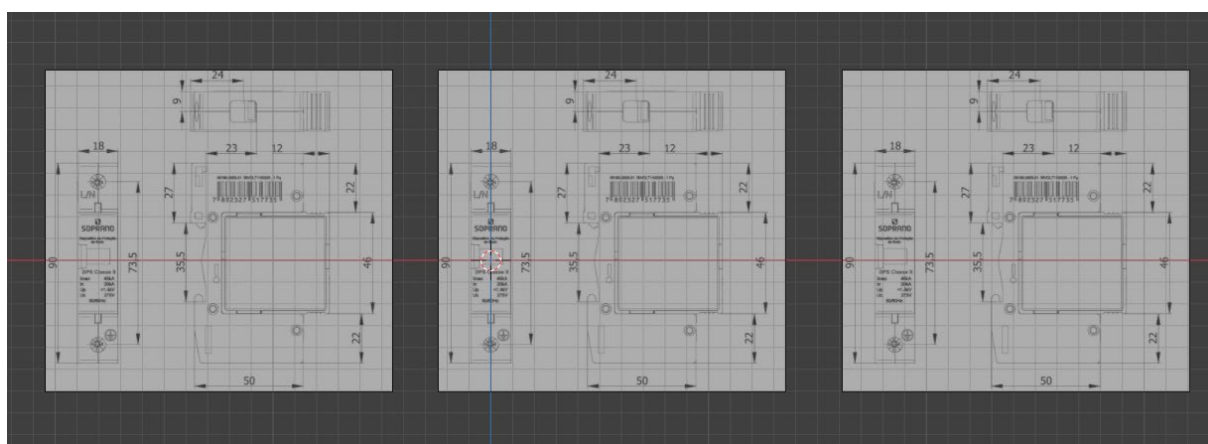
Figura 40 – Adicionando imagens de referência



Fonte: Autoria própria (2024)

Após adicionada a imagem (3º passo), deve ser configurada a opacidade, conforme demonstrado nos passos 4º ao 7º, de modo que seja possível observar o volume modelado e a imagem de referência. Posteriormente, a imagem deve ser escalonada de modo que fique com as dimensões reais. Para modelagem de componentes, sugere-se trabalhar com as dimensões em milímetros ou centímetros, principalmente quando se trata de objetos pequenos, como é o caso do DPS. Para deixar a imagem em escala, utiliza-se o comando “SHIFT+Barra de espaço” e escolhe-se a opção “S”. Posteriormente, realiza-se quantas cópias forem necessárias, de modo que contemple todas as vistas de modelagem. Para copiar um objeto ou imagem utiliza-se o comando “SHIFT+D”. A Figura 41 apresenta a cópia para as 3 vistas.

Figura 41 – Cópia de imagem de referência

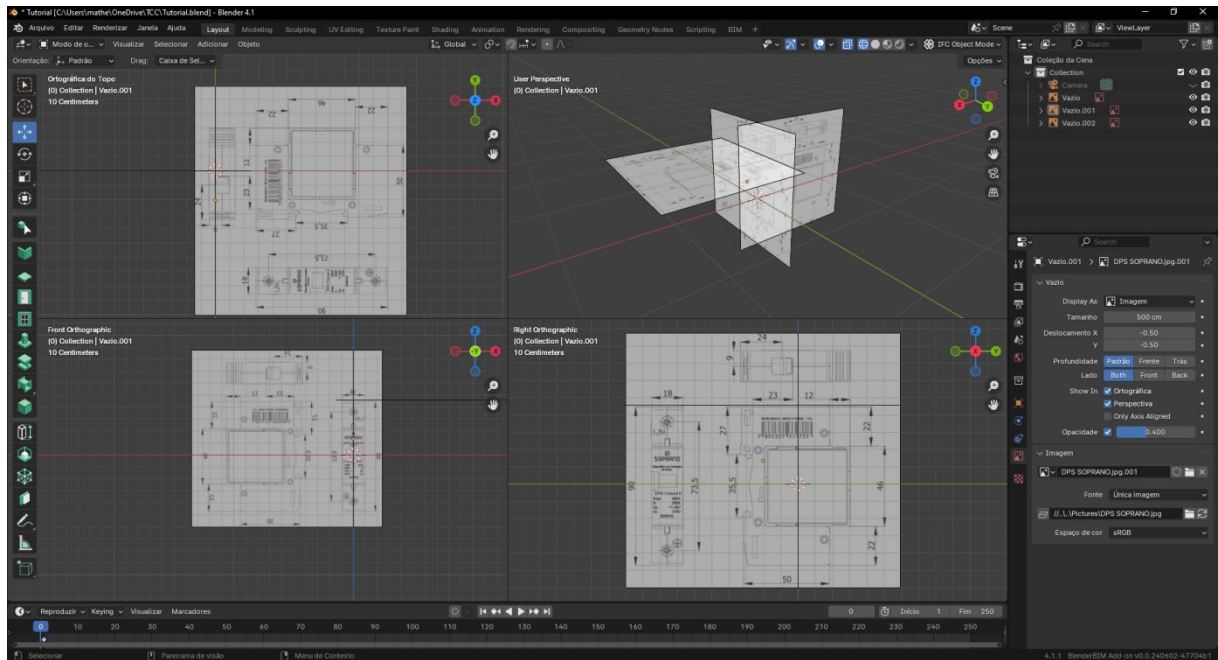


Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se na Figura 41 que a face frontal do objeto teve seu centro posicionado na intersecção entre os planos “x” e “z”, a utilização de planos e suas intersecções como referência é uma boa prática para realizar o alinhamento entre as diferentes faces da imagem referencial. Para mover objetos ou entidades, utiliza-se o atalho “G” após ter selecionado o objeto desejado.

Após duplicação das imagens, utilizando os comandos mover (“G”) e rotacionar (“R”), realiza-se a rotação e o alinhamento das imagens aos demais planos, de forma a ter uma perspectiva do objeto em pelo menos 3 vistas distintas. No presente tutorial, a imagem central foi escolhida para representar a face frontal do DPS, a imagem da esquerda foi escolhida para representar a vista lateral e a imagem da direita foi escolhida para representar a face superior do DPS. A Figura 42 contempla as vistas após rotação e alinhamento das imagens (“ALT+CRTL+Q”).

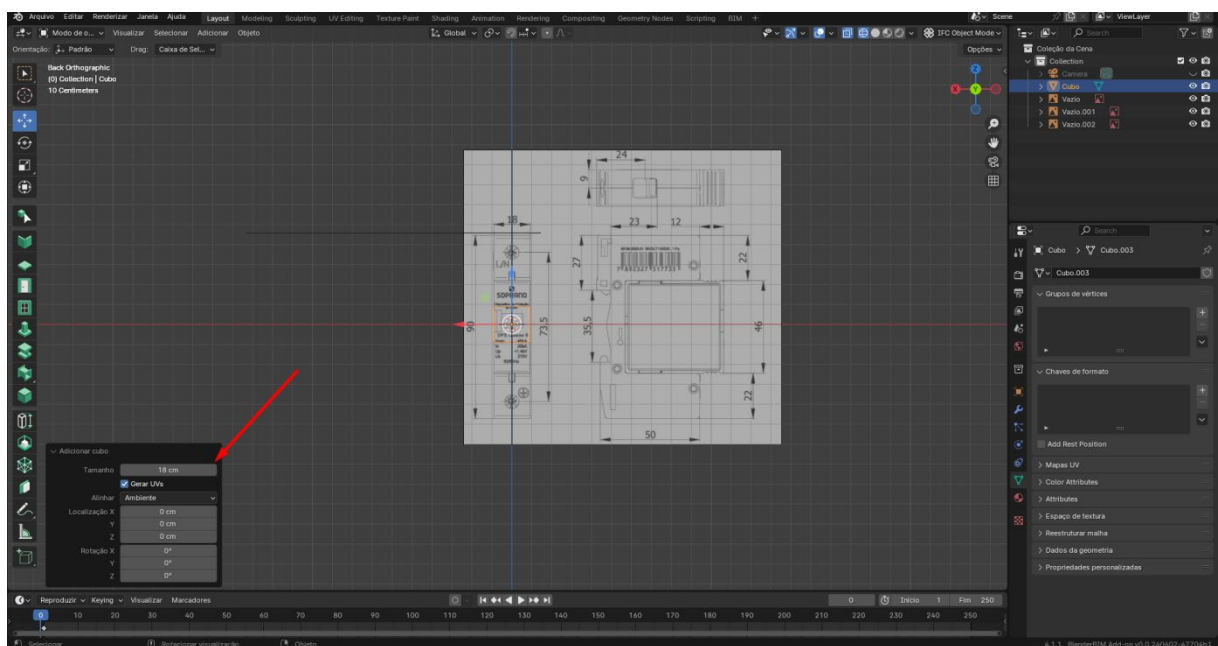
Figura 42 – Perspectivas para modelagem



Fonte: Autoria própria (2024)

Em posse das imagens de referência em seus respectivos planos, adicionaremos uma forma 3D cúbica no centro dos eixos utilizando o atalho “SHIFT+A” → Malha → Cubo, conforme Figura 43.

Figura 43 – Adicionando forma similar ao objeto

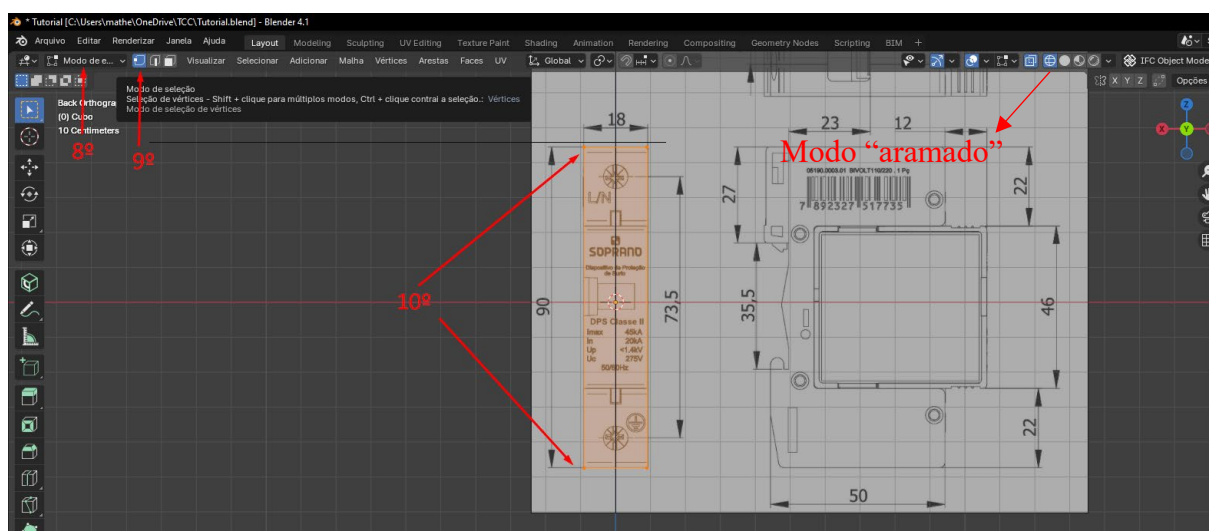


Fonte: Autoria própria (2024)

Após execução dos comandos mencionados anteriormente, abrirá um painel no canto inferior direito para escolha do tamanho da aresta do cubo. Como a espessura do DPS é de 18 cm, escolheu-se o valor “18”, pois a modelagem está sendo feita em centímetros. Observa-se na Figura 5 que o cubo se encaixou perfeitamente na face frontal do desenho de referência. O passo seguinte consiste em editar essa forma cúbica em todas os planos, de modo a moldar uma forma primitiva do objeto de interesse.

Para edições no cubo adicionado, deve-se entrar no modo edição de objeto (atalho “TAB”), disponível no canto superior direito. Dentro do modo de edição, selecionam-se os vértices de interesse com o modo “aramado” ativado (sombreamento na janela de exibição) e utilizando o comando mover “G” realiza-se o deslocamento para o ponto de referência. A Figura 44 apresenta o ajuste da face frontal.

Figura 44 – Ajuste da face frontal do cubo

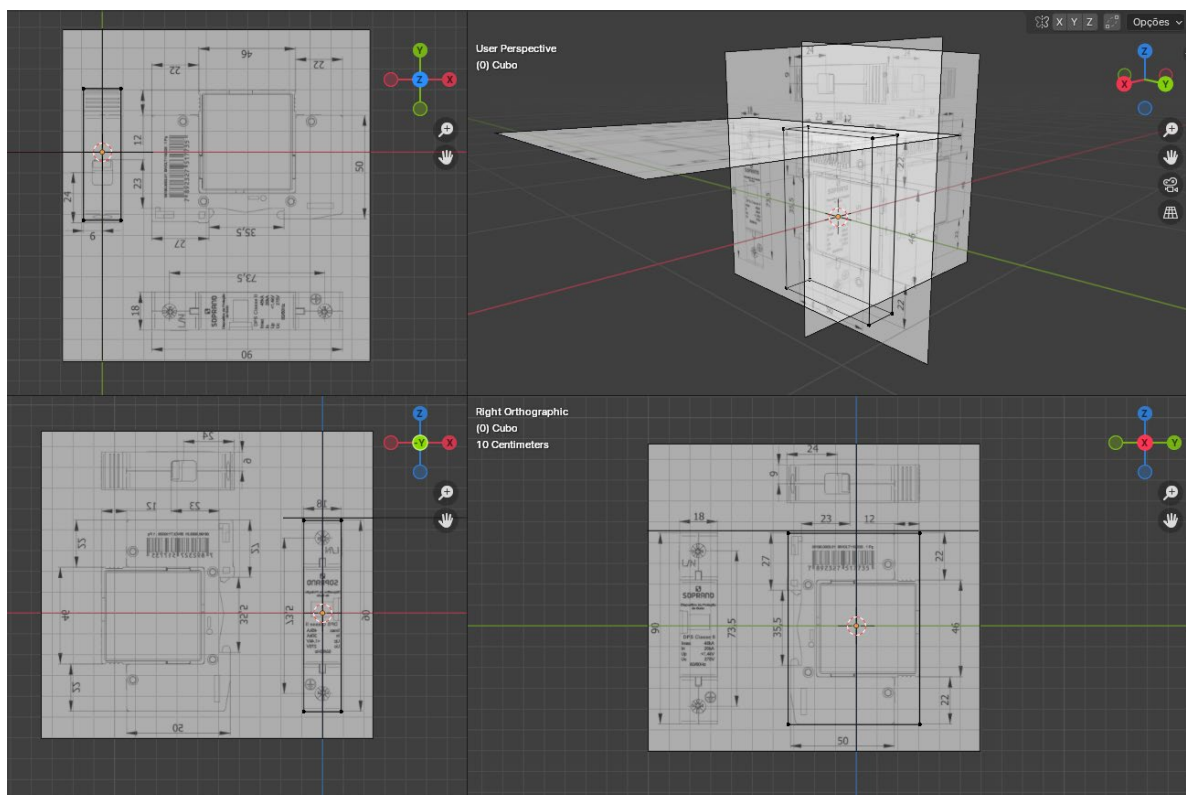


Fonte: Autoria própria (2024)

O passo seguinte consiste em realizar os ajustes na malha cúbica nas demais vistas, de forma a preencher completamente a área de desenho de interesse. Sendo assim, alterna-se o desenho para os demais planos com o auxílio do “gizmo” de eixos localizado no canto superior direito da área de trabalho.

A Figura 45 apresenta a forma obtida após as modificações realizadas em todos os planos das imagens de referência.

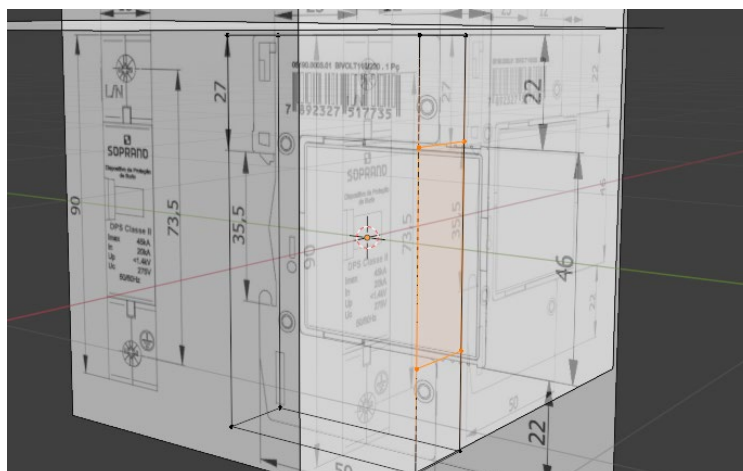
Figura 45 – Vista dos planos de referência



Fonte: Autoria própria (2024)

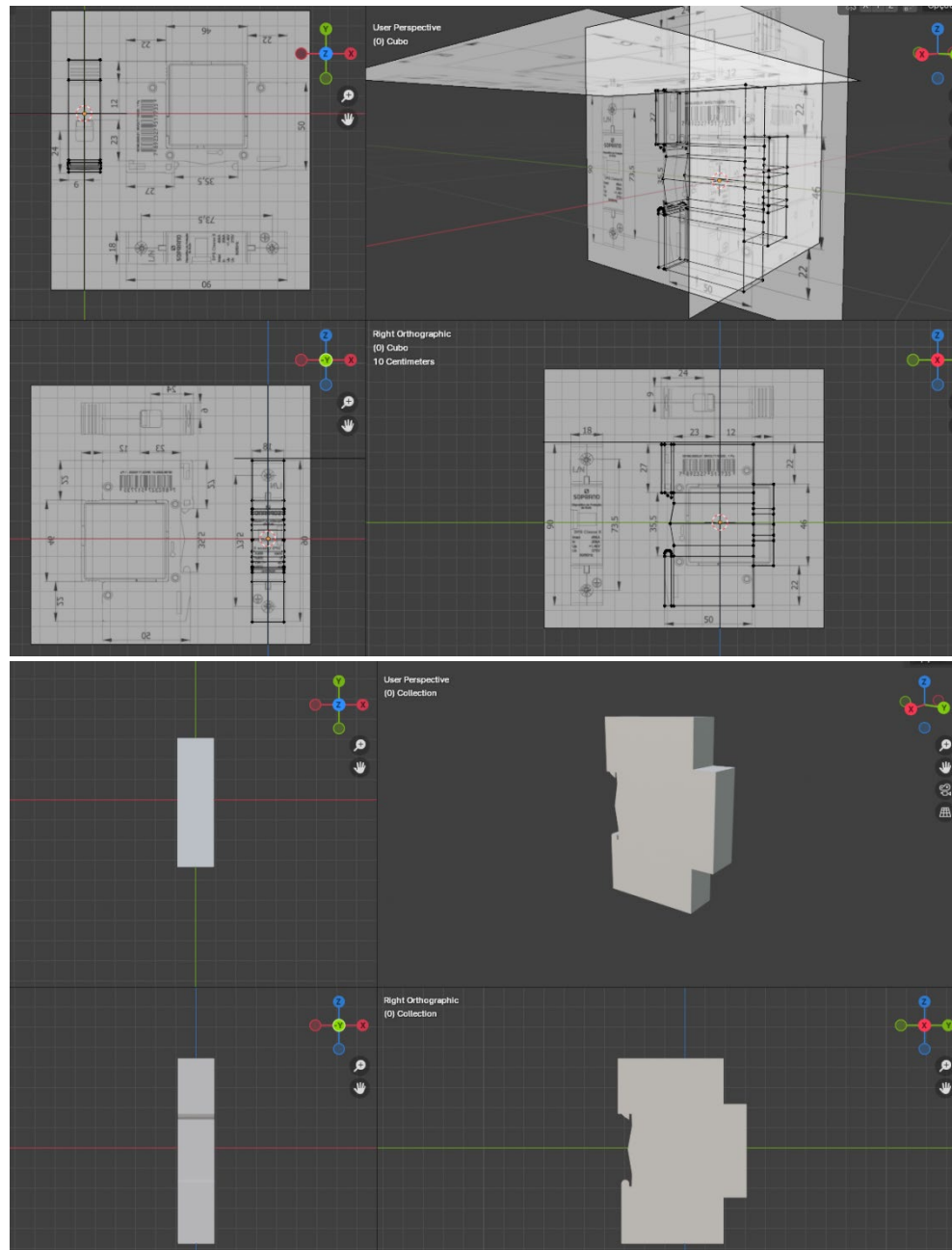
Após isso, serão criados “*loops*” na horizontal e vertical, utilizando o atalho “CTRL+R”, os *loops* servem para fazer ajustes mais precisos, como por exemplo a parte saltada do DPS. A Figura 46 apresenta a vista lateral após criação dos *loops* e realização dos ajustes dos novos vértices.

Figura 46 – Ajustes após criação de *loops*



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 48 – Forma do objeto após ajustes



Fonte: Autoria própria (2024)

Neste ponto, percebe-se que o objeto já apresenta quase que completamente a forma do esboço base. Nessa etapa de projeto, o arquivo deve ser salvo como a forma básica primitiva, restando apenas a realização da etapa de detalhamento, em que são inseridas informações características da peça, como cor, etiquetas, materiais e entre outros.

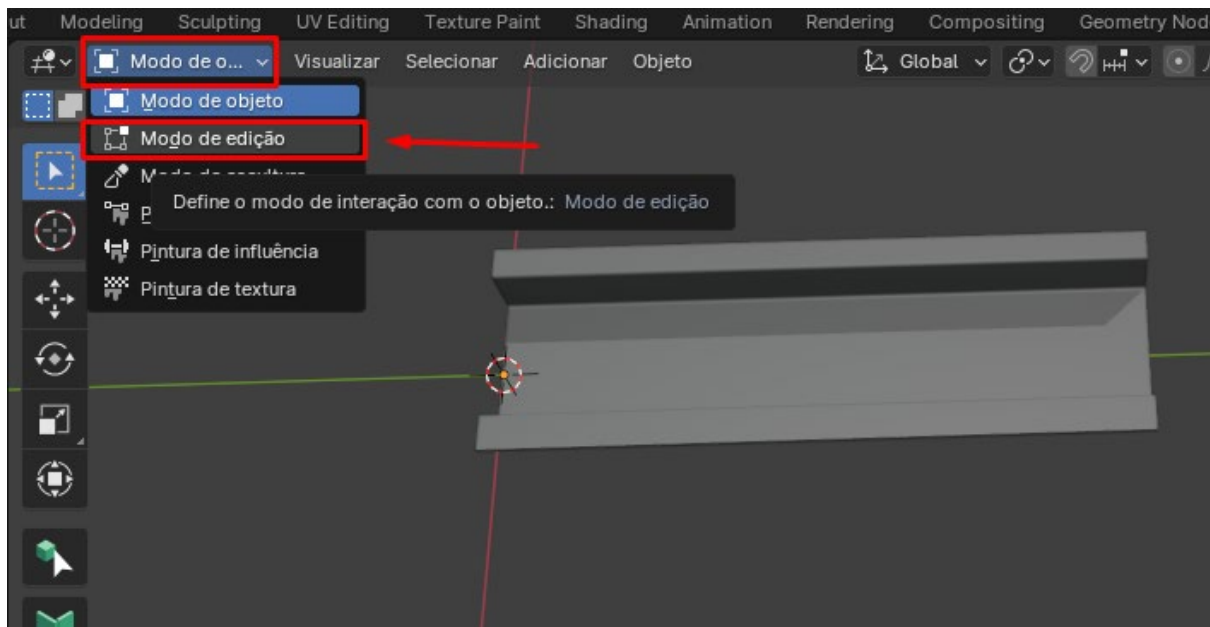
APÊNDICE B – TUTORIAL BÁSICO PARA ALTERAÇÃO DE PARÂMETROS DAS PEÇAS DA BIBLIOTECA

É de fundamental importância que os utilizadores da biblioteca de componentes elétricos, provenientes desse trabalho, saibam realizar pequenas alterações e ajustes de acordo com sua demanda. Dessa forma, o foco principal desse apêndice é a demonstração básica de como realizar modificações em peças modelo.

Inicialmente, deverá ser criada uma cópia do arquivo .BLEND correspondente à mudança que se deseja realizar. A cópia serve como um mecanismo de segurança em casos modificações falhas possam prejudicar a estrutura física e o formato da peça em questão. Após realização da cópia, o arquivo .BLEND deve ser aberto no Blender. No exemplo inicial, será utilizado o arquivo base do trilho DIN de 10 cm, tendo como objetivo a alteração do comprimento para 16 cm (tamanho que não se encontra na biblioteca).

Após abrir o arquivo de cópia .BLEND, será necessário entrar no modo de edição de objeto (atalho “TAB” ou canto superior esquerdo), conforme é ilustrado na Figura 49.

Figura 49 – Abrindo modo de edição de objeto

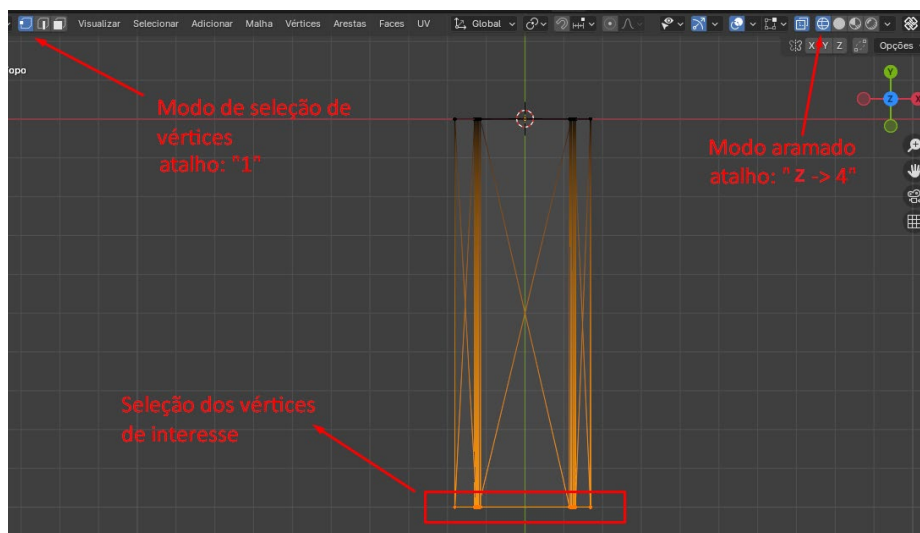


Fonte: Autoria própria (2024)

Após entrar no modo de edição do objeto, utiliza-se a forma de seleção de vértices e o modo de visualização em “aramado”, para que seja possível selecionar os vértices da geometria

do objeto. Na sequência deve ser realizada a seleção dos vértices de interesse, conforme apresentado na Figura 50.

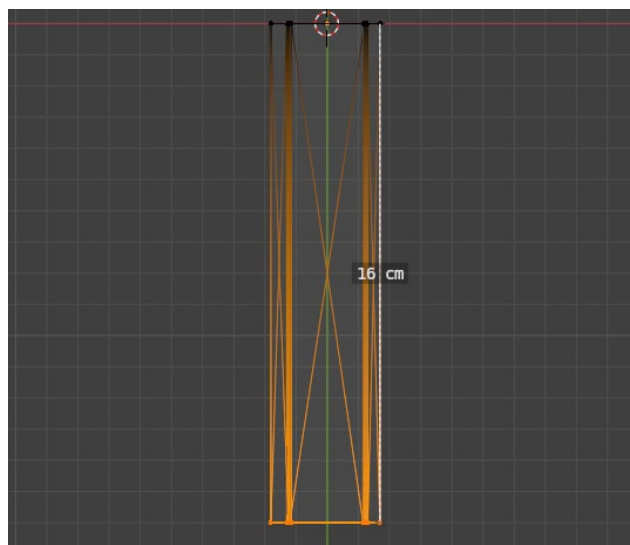
Figura 50 – Seleção de vértices de interesse



Fonte: Autoria própria (2024)

Posteriormente, utiliza-se o comando mover (atalho “G”) juntamente ao travamento do eixo a ser movido (Y), apertando a tecla “Y”. Na sequência, digita-se o valor exato a ser deslocado, conforme escala de trabalho, sendo -6 para cm, -0,06 para metros e -60 para milímetros. O resultado após o processo pode ser visualizado na Figura 51.

Figura 51 – Resultado do processo

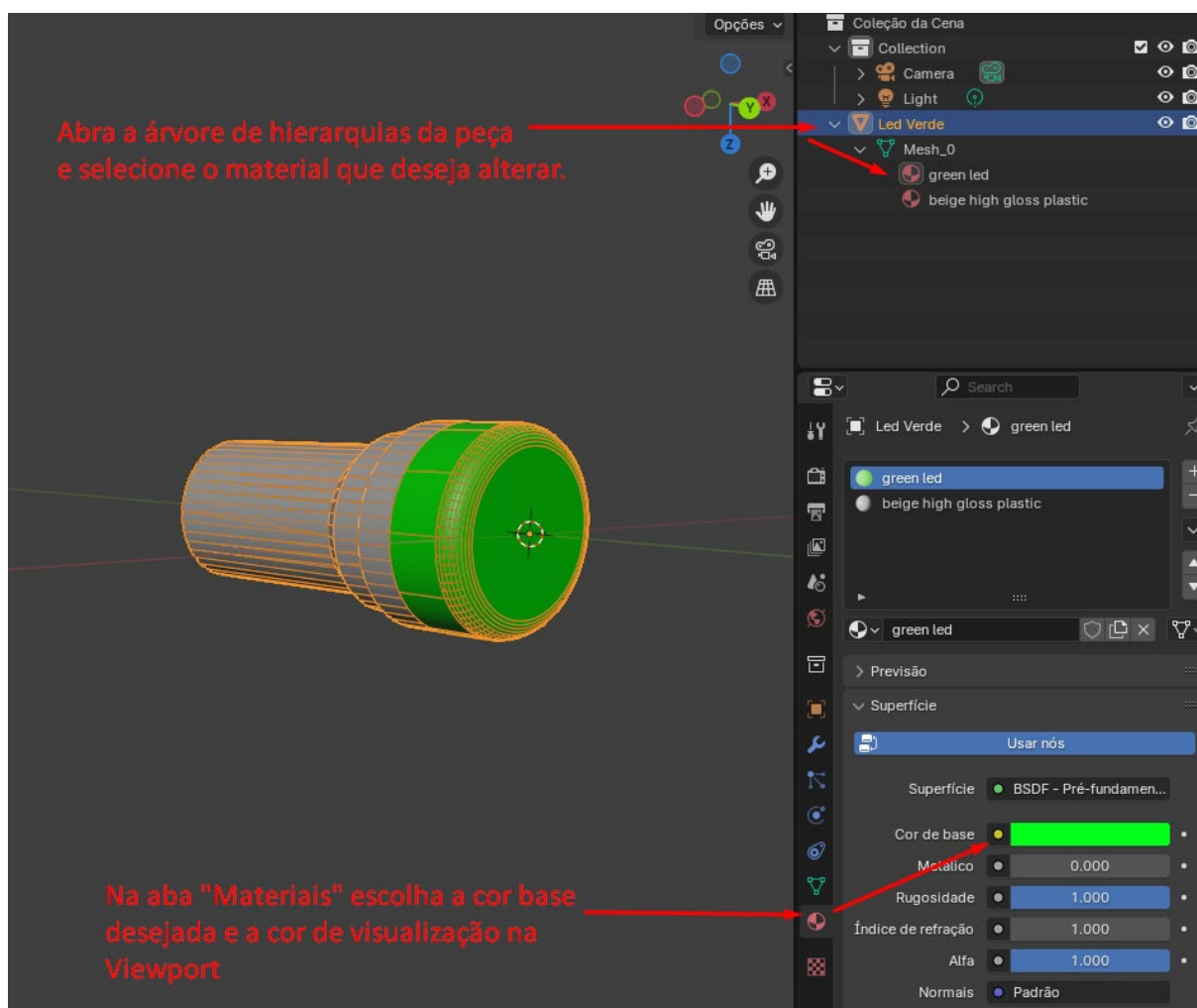


Fonte: Autoria própria (2024)

Finalizado o processo de edição, deve ser realizado o salvamento do novo arquivo com a devida alteração no nome em conformidade com os padrões de nomenclatura apresentados no presente trabalho. Nesse exemplo em específico, o nome do arquivo seria: “2C921406000000_CoindIFTO_Trilho_DIN_16cm.blend”.

Como forma de exemplificar a edição de texturas, será demonstrada a alteração dos parâmetros do Sinalizador LED, editando o objeto existente de cor verde para a cor azul (que não possui na biblioteca). Novamente foi necessário a criação de uma cópia do arquivo original para prosseguir com as edições. Após abertura do projeto, na aba Layout, deverá acessar o painel da árvore de hierarquias apresentado na Figura 52 e escolher a opção desejada para modificação da cor/propriedade.

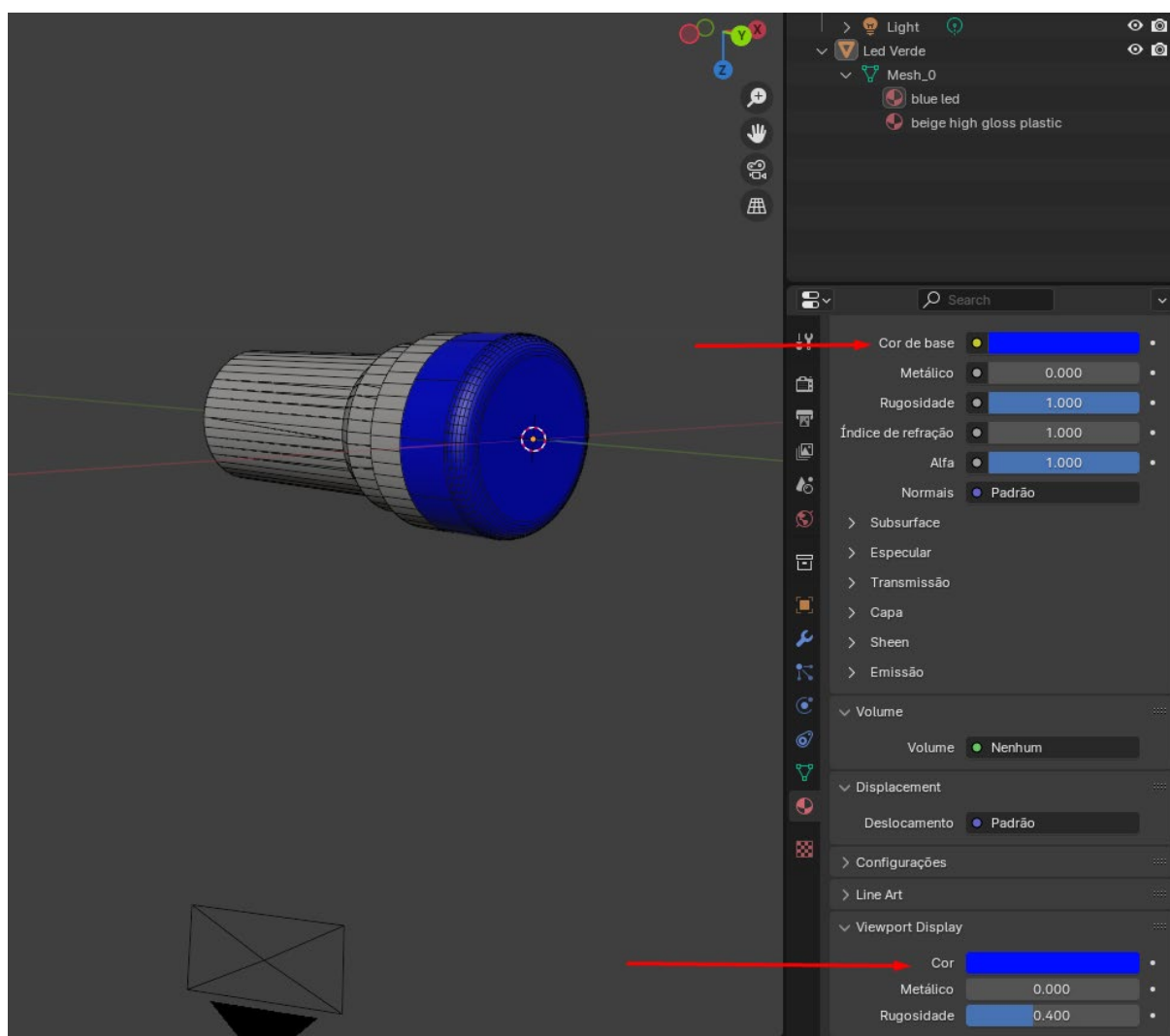
Figura 52 – Acessando editor de sombreadores



Fonte: Autoria própria (2024)

Em seguida, na “Cor de base”, será escolhida a cor de destino para a área da peça que possui ligação com o material selecionado na hierarquia. Essa opção está disponível para alterações em materiais já definidos (como é o caso presente), e pode ser realizada sem a necessidade de entrar no modo de edição de objeto. Vale ressaltar que a cor deve ser alterada também na “Viewport Display”, conforme ilustra a Figura 53.

Figura 53 – Sinaleiro LED azul



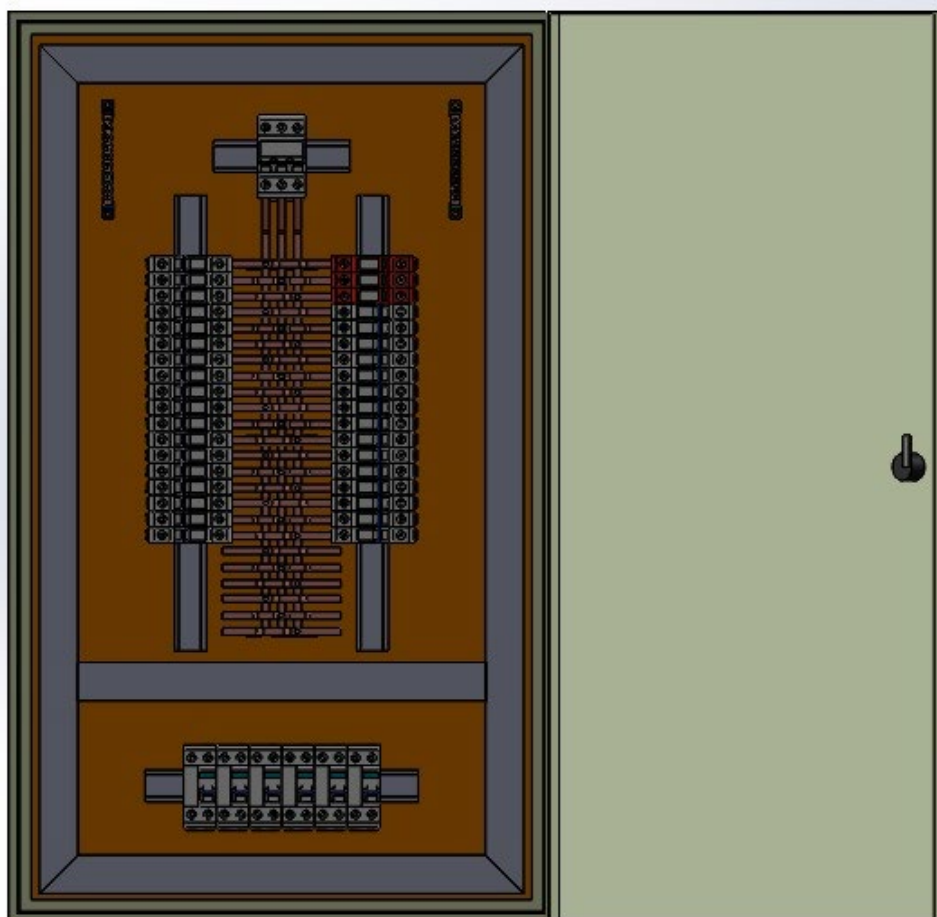
Fonte: Autoria própria (2024)

Finalizado o processo de edição, deve ser realizado o salvamento do novo arquivo com a devida alteração no nome em conformidade com os padrões de nomenclatura apresentados no presente trabalho. Nesse exemplo em específico, o nome do arquivo seria: “2C827210000000_CoindIFTO_Sinalizador_LED_Azul.blend”.

APÊNDICE C – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA BIBLIOTECA PARA MONTAGEM DE QGBT

Como parte integrante da biblioteca, será disponibilizado um exemplo prático de utilização da biblioteca de componentes elétricos em BIM na montagem de QGBTs (quadro geral de baixa tensão). O modelo de quadro montado está apresentado na Figura 54.

Figura 54 – Modelo BIM de montagem do QGBT com as peças da biblioteca



Fonte: Autoria própria (2024)

APÊNDICE D – SCRIPT DESENVOLVIDO PARA CONTROLAR A VISIBILIDADE DAS TAG’S DO QUADRO QD-GESEE.

Para controlar a visibilidade das TAG’s no aplicativo de realidade aumentada, foi necessário a elaboração de uma rotina simples de programação em C# (linguagem utilizada na Unity). O código de programação foi dividido em duas partes, sendo a primeira responsável por controlar a visibilidade em função da distância e a segunda responsável por alinhar a rotação e posição das TAG’s em função do alinhamento da vista frontal da câmera do dispositivo móvel. Segue abaixo as duas rotinas elaboradas:

Rotina A:

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

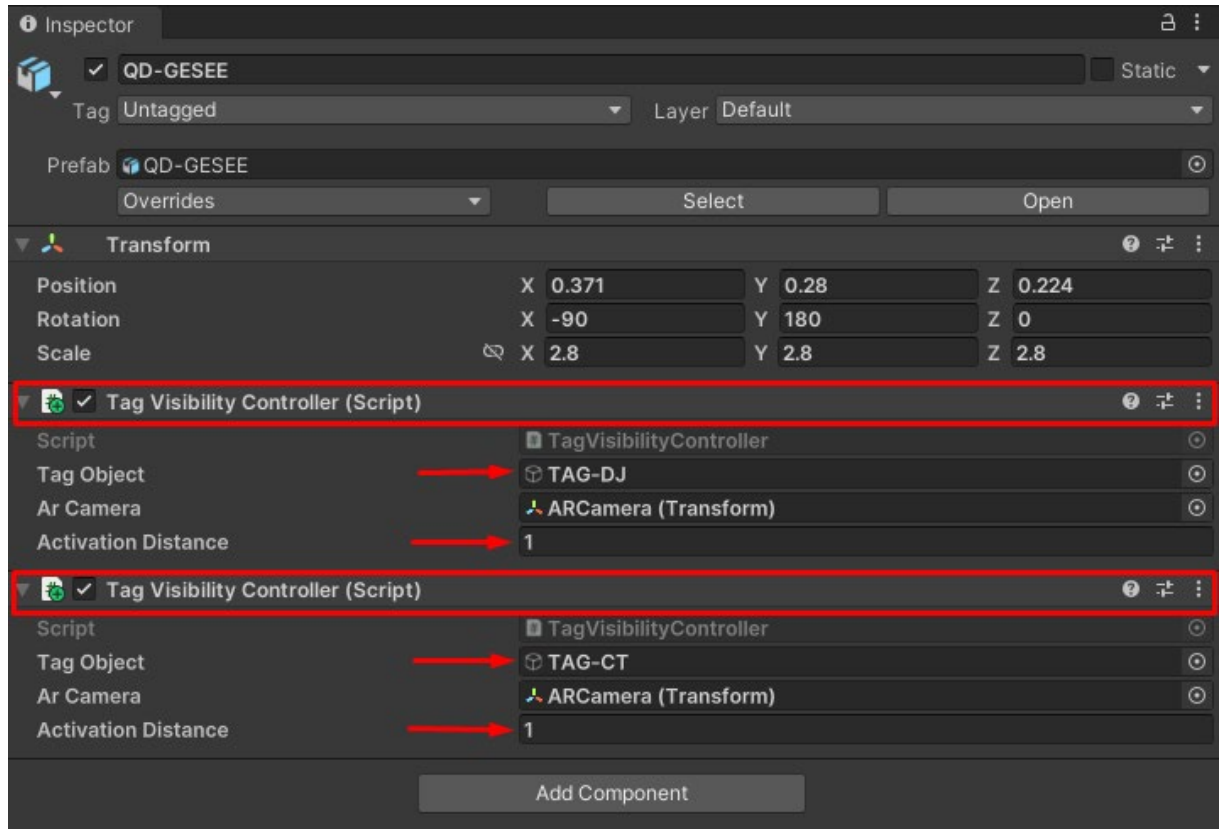
public class TagVisibilityController : MonoBehaviour
{
    public GameObject tagObject; // O objeto da tag que será exibido/ocultado
    public Transform arCamera; // A ARCamera do Vuforia
    public float activationDistance = 1.00f; // Distância mínima para exibir a tag

    void Update()
    {
        // Calcular a distância entre a câmera e o objeto
        float distance = Vector3.Distance(arCamera.position, transform.position);

        // Verificar se a distância é menor ou igual à distância de ativação
        if (distance <= activationDistance)
        {
            tagObject.SetActive(true); // Exibir a tag
        }
        else
        {
            tagObject.SetActive(false); // Ocultar a tag
        }
    }
}
```

Com a criação da Rotina A, torna-se possível controlar a distância de visibilidade da TAG e o objeto associado ao código de programação. Na Figura 55, é possível verificar a ativação da função de visibilidade a partir das variáveis de controle estabelecidas no código, bem como a possibilidade de manipulação direta no próprio ambiente de criação do Unity Vuforia.

Figura 55 – Utilização do código associado ao QD-GESEE



Fonte: Autoria própria (2024)

Rotina B:

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
```

```
public class CanvasLookAtCamera : MonoBehaviour
{
    public Transform arCamera; // A ARCamera do Vuforia
```

```
    void Update()
```

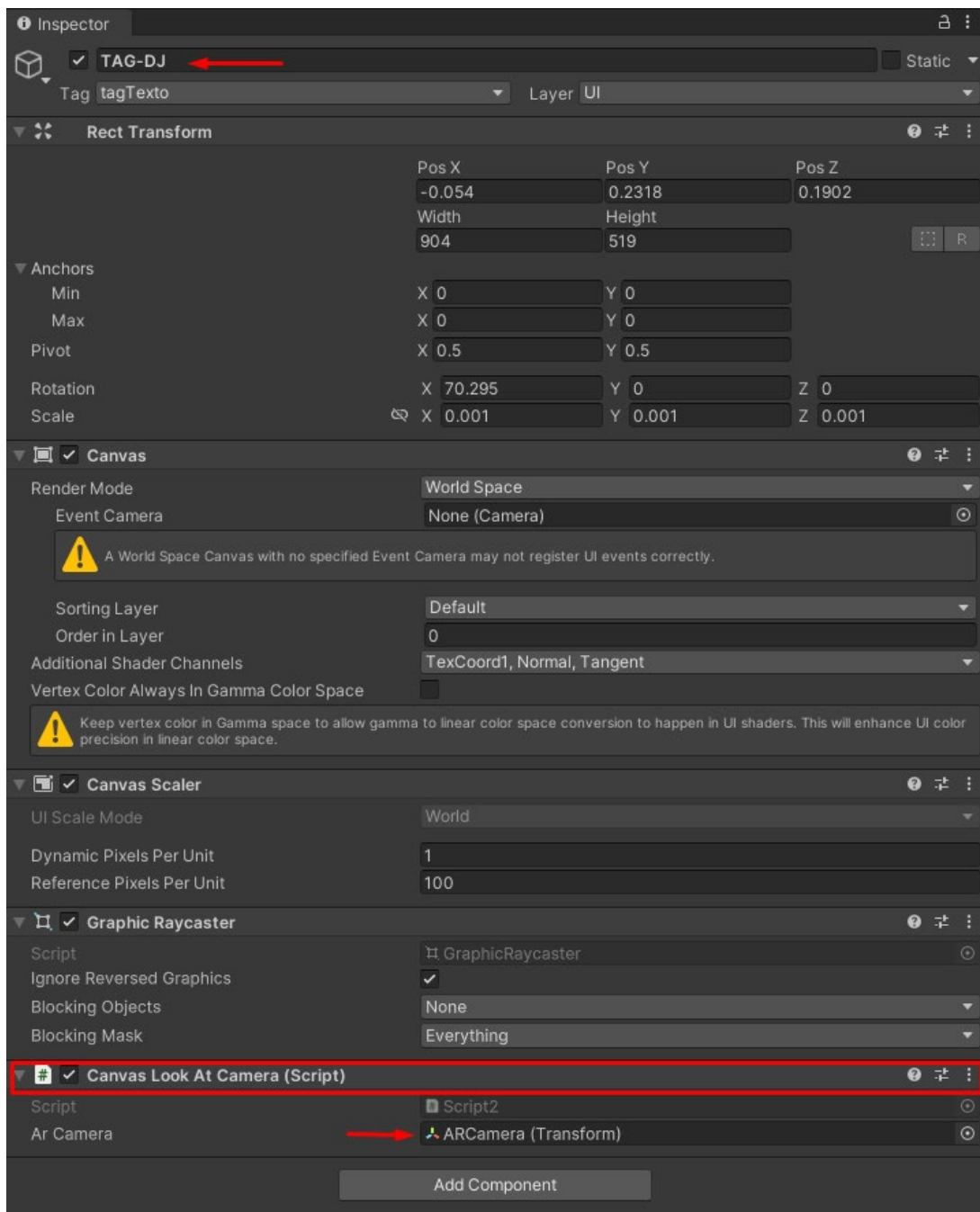
```
    {
        // Faz o Canvas olhar diretamente para a câmera
        transform.LookAt(arCamera);
```

```
        // Inverter a rotação no eixo Y para que o texto e a imagem fiquem voltados corretamente
        transform.rotation = Quaternion.Euler(0f, transform.rotation.eulerAngles.y + 180f, 0f);
```

```
    }
}
```

A Rotina B é responsável por transformar a posição e rotação da TAG à medida que a câmera se move pela cena de realidade aumentada, isso se faz necessário, pois uma posição fixa no espaço inviabilizaria a utilização de recursos como a inserção de itens dinâmicos em uma cena de RA. A Figura 56 apresenta a configuração dos parâmetros da Rotina B aplicados ao disjuntor tripolar do projeto, referenciado como TAG-DJ.

Figura 56 – Parametrização da rotina de ajuste de rotação e posição das TAG's



Fonte: Autoria própria (2024)

APÊNDICE E – NAVEGAÇÃO PELA BIBLIOTECA DE COMPONENTES ELÉTRICOS EM BIM

A biblioteca de famílias dos componentes elétricos em BIM foi disponibilizada gratuitamente para toda a comunidade acadêmica do IFTO, mediante o upload dos arquivos no Google Drive. Os itens possuem restrição para que seja permitido o acesso apenas aos usuários com o domínio “.ifto.edu.br” em seu endereço de e-mail. O link para acesso a biblioteca é o: <<https://drive.google.com/drive/folders/1sYcIeE6EfcXWw8hMibxd1Vz0nF8YBgAO>>, sem “>” ou “<”. A Figura 57 mostra a aba inicial da biblioteca.

Figura 57 – Interface inicial da biblioteca

Meu Drive > TCC - CAIO E MATHEUS > BIBLIOTECA ▾

Tipo ▾ Pessoas ▾ Modificado ▾

Nome ↑	Proprietário
 2C823800000000_CoindIFTO_Disjuntor	 eu
 2C824038020000_CoindIFTO_QuadroMetálico	 eu
 2C824046060000_CoindIFTO_Barramento	 eu
 2C824406000000_CoindIFTO_Conector_Banana	 eu
 2C824406000000_CoindIFTO_Conector_Passagem	 eu
 2C824430100000_CoindIFTO_Canaleta_PVC	 eu
 2C824800000000_CoindIFTO_Contator_Potencia	 eu
 2C825200000000_CoindIFTO_Botoeiras_Impulso	 eu
 2C825200000000_CoindIFTO_ChaveSeletora_3posicoes	 eu
 2C825600000000_CoindIFTO_DispositivoDR	 eu
 2C825614000000_CoindIFTO_DPS	 eu
 2C827210000000_CoindIFTO_Sinalizador_LED	 eu
 2C921406000000_CoindIFTO_Trilho_DIN	 eu

Fonte: Autoria própria (2024)

Após acessar a biblioteca, os usuários são livres para baixar qualquer item, desde que conectem com uma conta institucional do Instituto Federal do Tocantins.