

Simulador do Laboratório de controle e acionamento de máquinas elétricas utilizando os conceitos de realidade virtual

Simulator of the Control and Activation Laboratory for Electrical Machines using Virtual Reality Concepts

Luís Carlos Cordeiro Magalhães

luiscarlosmagalhaes00@gmail.com

Prof. Dr. Marconni Freitas Barroso Ribeiro Gonçalves

marconni.goncalves@pesqueira.ifpe.edu.br

<https://www.overleaf.com/project/64f7b3bccb2a8bbe709b44f0>

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo primordial o desenvolvimento de uma réplica tridimensional do laboratório de controle e acionamento de máquinas elétricas do IFPE - campus Pesqueira, fundamentada no conceito de gêmeo digital e realidade virtual. Para a materialização deste propósito, procedeu-se à modelagem meticulosa dos componentes no *software* Blender 3D, seguida pela programação detalhada de cada um deles na plataforma da Unity. Como resultado, foi viabilizada a realização de práticas de comandos elétricos no ambiente virtual do laboratório, assegurando uma fidelidade na simulação. Esta imersão permite que os usuários experimentem e conheçam o laboratório sem a necessidade de presença física, possibilitando a simulação e a condução de aulas a distância. Ademais, o simulador contribui significativamente para a redução de componentes danificados e minimizando os riscos de acidentes. Conclui-se, portanto, que a implementação de um laboratório virtual configura-se como uma ferramenta pedagógica eficaz e segura para o ensino de comandos elétricos, proporcionando uma experiência de aprendizado acessível, envolvente e prático.

Palavras-chave: *simulação computacional; modelagem 3D; computação gráfica.*

ABSTRACT

This work aimed primarily at the development of a three-dimensional replica of the control and activation laboratory for electrical machines at IFPE - Campus Pesqueira, based on the concept of a digital twin and virtual reality. To achieve this goal, meticulous modeling of the components was carried out using Blender software, followed by detailed programming of each component in Unity. As a result, it was possible to conduct electrical command practices in the virtual laboratory environment, ensuring fidelity in the simulation. This immersion allows users to experience and familiarize themselves with the laboratory without the need for physical presence, enabling simulation and remote teaching. Furthermore, the simulator significantly contributes to the reduction of

damaged components and minimizes accident risks. It is concluded, therefore, that the implementation of a virtual laboratory constitutes an effective and safe pedagogical tool for teaching electrical command, providing an accessible, engaging, and practical learning experience.

Keywords: *computer simulation; 3D modeling; computer graphics.*

1 INTRODUÇÃO

A disseminação e aprofundamento nos estudos da realidade virtual, torna-se viável a utilização de ambientes virtuais que reproduzam a realidade do dia a dia. Esta tecnologia tem aplicações em diversas áreas, como, por exemplo, a engenharia elétrica. A integração de ambientes tridimensionais no processo de aprendizado pode suscitar um maior interesse no conteúdo didático, uma vez que os estudantes, os quais em grande parte são usuários de tecnologia, demonstram crescente interesse por novidades, especialmente na área de realidade virtual.

A realidade virtual termo originário do inglês *virtual reality*, doravante apenas tratado por VR, é uma tecnologia que cria uma experiência simulada e interativa em um ambiente tridimensional, gerado por computador. Esta ferramenta pode gerar a sensação de estar em um local diferente do real. Quando rico em detalhes o *software* transporta o usuário para uma nova percepção, permitindo que ele interaja com objetos e personagens virtuais como se estivesse fisicamente presente.

Na era digital atual, a tecnologia de VR tem se destacado como uma ferramenta poderosa para aprimorar experiências educacionais e práticas em diversos campos. Segundo Gonçalves, Magalhães et al. (2023) a VR destaca-se pela criação de experiências imersivas em áreas como entretenimento, saúde e educação. No contexto educacional, ela enriquece o aprendizado com simulações interativas. Apesar dos benefícios, os desafios financeiros e tecnológicos limitam seu acesso. A falta de equipamentos em quantidade suficiente ou que estejam funcionando nos laboratórios de instituições de ensino dificulta o aprendizado dos estudantes. Como destacado por Rocha et al. (2013), essas limitações incluem:

- A escassez de equipamentos funcionais;
- Altos custos de construção e manutenção;
- A falta de interatividade devido à hermeticidade dos aparelhos.

Na indústria, o que ocorre não é tão distante do cenário educacional. O treinamento de um funcionário exige que interrupções ocorram na produção, e isto pode impactar negativamente a eficiência e a continuidade dos negócios. A necessidade de desligamento dos equipamentos para permitir o treinamento prático dos trabalhadores é uma realidade comum em muitos setores industriais. Além disso, alguns setores industriais altamente automatizados fazem com que os trabalhadores tenham dificuldades em

entender completamente o funcionamento interno de máquinas complexas e sistemas de produção.

Um exemplo relevante de aplicação da realidade virtual é o *software* 3D de uma cabine de subestação desenvolvido pela Virtual Engenharia. Este produto utiliza tecnologia similar ao do presente trabalho e oferece uma experiência imersiva detalhada. Com uma licença de R\$500,00 por ano, ele demonstra a viabilidade econômica e a aplicabilidade prática de soluções VR no campo da engenharia elétrica. Este *software* destaca-se por permitir aos usuários entender e interagir com os componentes e operações de uma subestação, sem a necessidade de acesso físico ao equipamento real, o que reforça a proposta do nosso simulador 3D para o laboratório de controle e acionamento de máquinas elétricas.

Assim sendo, este trabalho descreve o desenvolvimento de um simulador 3D para o laboratório de controle e acionamento de máquinas elétricas, com a finalidade de oportunizar ao usuário uma imersão no laboratório do campus Pesqueira, permitindo-lhe realizar práticas de comandos elétricos onde quer que esteja.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi de criar um laboratório virtual que possibilite práticas na área de comandos elétricos através de um *software* que permita ao usuário aprimorar seus conhecimentos e sua formação. O *software* é composto por conceitos trabalhados na disciplina de comandos elétricos. Para atingir esse objetivo foi necessário fazer:

- Estudar sobre *softwares* de modelagem tridimensional, mecanismos para texturização e iluminação;
- Pesquisar formas de simular o comportamento de máquinas elétricas e os dispositivos Eletromecânicos;
- Modelar os componentes eletromecânicos mais utilizados no laboratório e sua infraestrutura;
- Criar um ambiente de simulação realista e 3D do laboratório;
- Desenvolver um modelo computacional que simule o funcionamento e a mecânica dos dispositivos presentes no laboratório.

1.2 JUSTIFICATIVA

A gênese da ideia teve como ponto central a demanda do professor orientador por uma ferramenta de ensino mais avançada para auxiliar nas aulas de comandos elétricos. Além disso, o discente, munido de conhecimentos em realidade virtual e gêmeos digitais obtidos durante sua participação em projetos de iniciação em desenvolvimento tecnológico e inovação, também percebeu a carência de um *software* mais tecnológico para aprimorar o aprendizado da matéria. Esta percepção conjunta impulsionou a criação deste trabalho.

Este *software* visa auxiliar o estudo da disciplina de comandos elétricos, proporcionando uma abordagem mais flexível e acessível. A ferramenta contribuirá para a formação dos alunos, oferecendo um instrumento de aprendizado valioso, que permitirá:

- A simulação das aulas práticas no próprio ritmo do estudante;
- A redução de danos aos materiais elétricos do laboratório;
- A minimização de riscos de acidentes;
- O auxílio em monitorias.

Dessa forma, este Trabalho não apenas aborda uma lacuna identificada, mas também representa uma iniciativa significativa na modernização do ensino, promovendo eficácia e segurança no estudo de comandos elétricos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento de simuladores é uma exploração da criatividade e habilidades técnicas, proporcionando ambientes virtuais ricos e interativos. Esta fundamentação teórica visa apresentar os principais conceitos envolvidos no desenvolvimento de simuladores, concentrando-se na caracterização de temas diretamente pertinentes ao escopo deste trabalho. O entendimento desses conceitos fundamentais é essencial para uma análise aprofundada das funções e aplicações do *software*.

2.1 REALIDADE VIRTUAL

Realidade virtual pode ser definida como uma ponte que permite o usuário acessar aplicações no computador, que simulam a visualização e movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real e com interação. Segundo Tori, Kirner e Siscoutto (2006), a VR pode ser compreendida como um programa de computador que envolve o usuário em um ambiente que é similar a realidade. Para Reis (2013) a realidade virtual inclui imersão, navegação e interação. Imersão é estar no ambiente, navegação é movimentação interna, e interação é a modificação pelo usuário no mundo virtual. Quanto mais intensa for a experiência sensorial por meio de estímulos auditivos e visuais, maior será a percepção do usuário quanto ao realismo do ambiente computacional.

A compreensão desses elementos é essencial para explorar a interseção entre a Realidade Virtual, seus componentes fundamentais e a influência dos estímulos sensoriais na construção de uma experiência virtual envolvente e um ambiente de simulação mais realista.

2.2 AMBIENTE VIRTUAL

A criação de um ambiente de realidade virtual é uma tarefa complexa, dada a variedade de linguagens de programação disponíveis no mercado, cada uma com suas

peculiaridades. A escolha da linguagem de programação mais apropriada foi determinada conforme discutido por Tori e Hounsell (2020) que, entre as opções, fala sobre as *game engines* como Unreal e Unity 3D sendo as preferidas devido à facilidade de desenvolvimento, suporte abrangente para dispositivos e licenciamento gratuito para uso pessoal e/ou sem fins lucrativos. A preparação dos ambientes virtuais inclui atividades como modelagem 3D, manipulação de texturas, som e animações, fundamentais para criar experiências imersivas na Realidade Virtual. *Game engines* ou motor de jogos pode ser definido como uma ferramenta com a capacidade de encapsular códigos, permitir a interação entre recursos artísticos (modelos, imagens, texturas e sons) e de programação, possibilitando o desenvolvimento independente de plataforma e utilizar eficientemente os recursos disponíveis conforme abordado em Rodrigues (2017).

A Unity oferece um ambiente de desenvolvimento integrado com diversas funcionalidades voltadas para a criação de simulações realistas, como físicas avançadas, iluminação dinâmica e facilidade na integração de *scripts* em C#.

3 METODOLOGIA

O propósito deste trabalho é o desenvolvimento do *software* para simulação do laboratório de controle e acionamento de máquinas elétricas. A metodologia utilizada pode ser considerada exploratória, pois envolve a criação de algo inovador. Além disso, há aspectos descritivos ao apresentar detalhes sobre a funcionalidade e características do *software*. Como também, possui traços de uma pesquisa qualitativa, onde ela é fundamentada na observação do ambiente no qual o sistema será empregado, dando ênfase à compreensão da perspectiva do usuário. No contexto deste trabalho, optou-se pela abordagem qualitativa com propósito exploratório e descritivo para apresentar o desenvolvimento do *software* e analisar o quão realista ficou, tomando como base o laboratório de controle e acionamento de máquinas elétricas do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), doravante referido apenas como IFPE neste trabalho, *campus* Pesqueira.

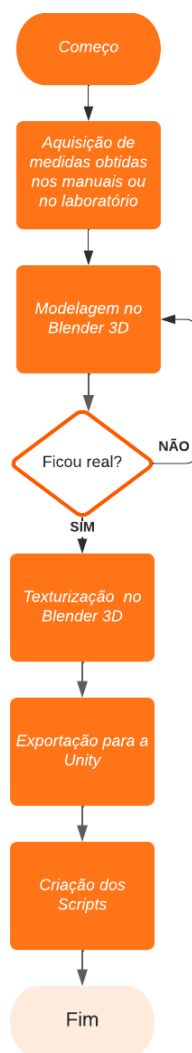
Para o desenvolvimento do simulador de práticas para o laboratório de controle e acionamento de máquinas elétricas, foi adotada uma metodologia estruturada em três etapas principais. Estas etapas incluem a modelagem 3D dos objetos, a construção do laboratório usando a *Game Engine* da Unity e a criação de *scripts* em linguagem C# para interação do usuário e funcionamento dos equipamentos.

A escolha da Unity como *Game Engine* se deve à sua robustez e flexibilidade no desenvolvimento de simuladores interativos. Além disso, a vasta comunidade de desenvolvedores e a disponibilidade de recursos e *plugins* tornam a Unity uma plataforma acessível e eficiente para este projeto.

O Blender 3D foi selecionado para a modelagem dos objetos por ser um software de código aberto, amplamente utilizado na indústria para criação de modelos tridimensionais detalhados. O Blender 3D permite uma modelagem precisa e exportação de arquivos compatíveis com a Unity, além de possuir uma comunidade ativa que oferece tutoriais e suporte, o que facilita o aprendizado e aprimoramento das técnicas de modelagem. Sua capacidade de criar objetos altamente realistas foi crucial para alcançar o nível de imersão desejado no simulador.

Para ilustrar o processo de aquisição de medidas, foi elaborado o Figura 1. Nele, estão representadas as etapas desde a consulta aos manuais dos equipamentos até a criação dos *scripts* dentro da Unity.

Figura 1 – Fluxograma das atividades.



Fonte: Próprio Autor

3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES

Inicialmente deve-se identificar os componentes que precisariam ser modelados. Os principais componentes selecionados para o simulador incluem:

- Motores de indução trifásicos;
- Botoeiras;
- Contactores;

- Sinaleiras;
- Bancadas didáticas;
- Cabos de conexão.

Cada componente foi analisado para garantir que suas características visuais e funcionais fossem representadas de modo preciso no simulador.

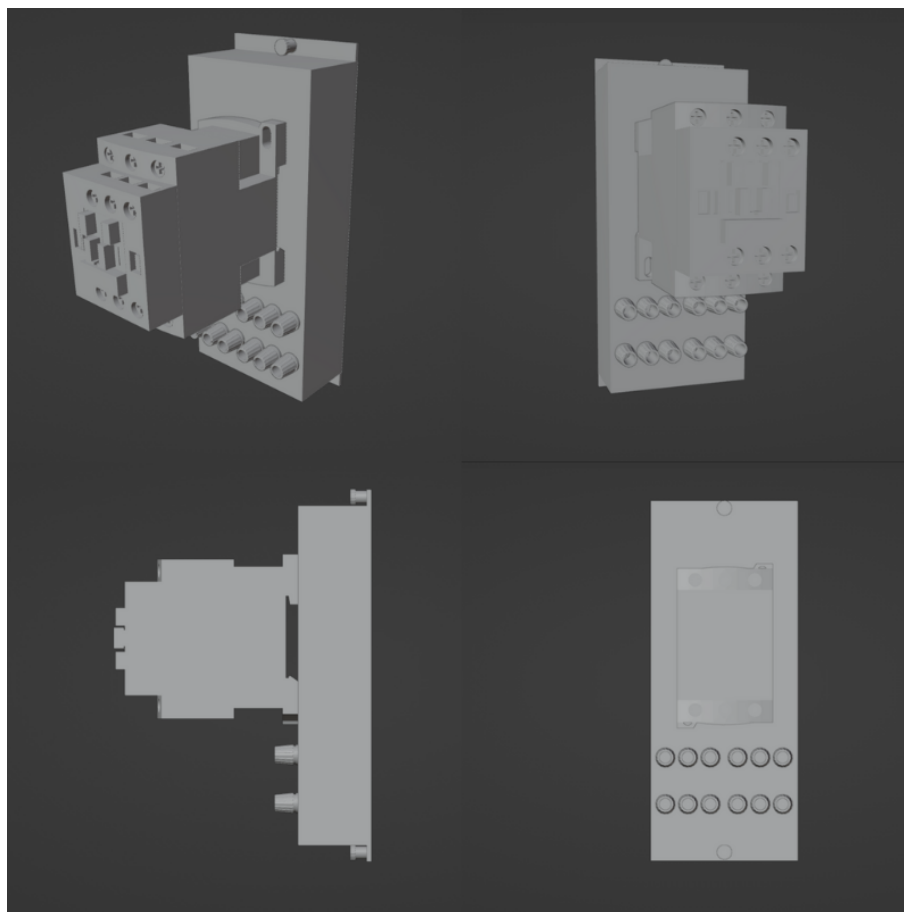
3.2 MODELAGEM DOS OBJETOS

A modelagem tridimensional dos objetos foi realizada utilizando o Blender 3D. Este *software* foi escolhido devido à sua capacidade de criar modelos detalhados e realistas. Durante esta fase, foram seguidos os seguintes passos:

- Desenvolvimento dos modelos 3D baseados em fotos e especificações técnicas;
- Aplicação de texturas e materiais para simular a aparência real dos equipamentos.

Para ilustrar a metodologia adotada utilizou-se de um contactor tripolar, como exemplo. Durante a modelagem deu-se início a uma vasta pesquisa a respeito dos aspectos físicos e funcionamento dos contactores elétricos. Para isso, foram buscadas as dimensões em sites de fabricantes, além de realizar medições em contactores disponíveis no laboratório de comandos e acionamentos de máquinas elétricas do IFPE - campus Pesqueira. Com base nessas informações, a modelagem 3D do contactor foi executada utilizando o *software* Blender 3D, garantindo uma representação fiel do equipamento conforme visto na Figura 2.

Figura 2 – Modelagem 3D do contactor no Blender 3D.



Fonte: Próprio Autor

3.3 CRIAÇÃO DO AMBIENTE VIRTUAL

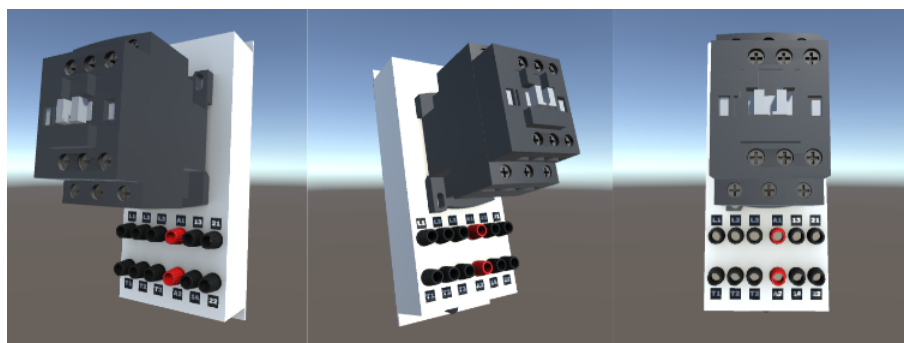
Após a modelagem dos objetos, a próxima etapa foi a construção do laboratório na *Game Engine* da Unity, o qual foi escolhido por seu suporte a múltiplas plataformas, por possuir uma vasta biblioteca de recursos e uma comunidade ativa de desenvolvedores. As atividades desta fase incluíram:

- Importação dos modelos 3D para o Unity;
- Configuração do cenário, incluindo a disposição dos objetos e a definição dos elementos de interação;
- Aplicação de iluminação adequada para criar um ambiente realista e facilitar a visualização dos componentes.

O modelo 3D dos equipamentos era visualizável apenas no ambiente do Blender 3D. No entanto, para a criação de um ambiente computacional interativo, a Unity foi escolhida para este trabalho. A Unity, amplamente reconhecida no desenvolvimento de jogos 3D e 2D, mostrou-se adequada para o projeto de digitalização.

Com a importação do modelo feito no Blender 3D para a Unity, foi possível visualizar, por exemplo, o contactor elétrico em um ambiente computacional. Inicialmente, o modelo virtual do contactor apresentava baixa qualidade gráfica e problemas de texturização na Unity. Para resolver esses desafios, foram realizados novos estudos sobre o funcionamento do motor gráfico, resultando em melhorias nos gráficos e na visualização do contactor, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Modelo 3D do contactor na Unity.



Fonte: Próprio Autor

3.4 CRIAÇÃO DOS *SCRIPTS*

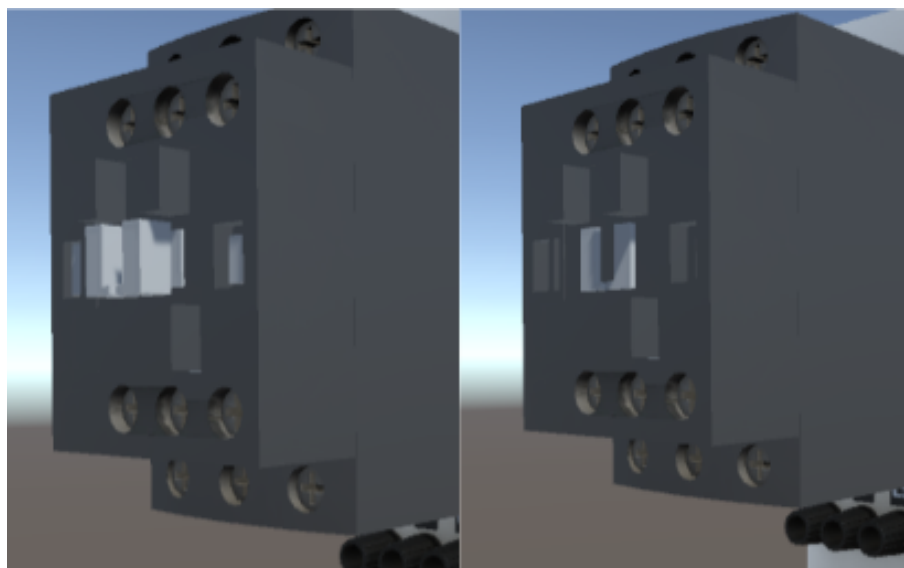
A última etapa do desenvolvimento envolveu a criação de *scripts* para controlar a interação do usuário com o simulador. Utilizando a linguagem de programação C#, foram escritos *scripts* para:

- Controlar o comportamento dos componentes simulados, como o funcionamento dos motores;
- Implementar *feedback* visual e sonoro para orientar os usuários durante a realização das práticas, como no caso do contactor.

Esses *scripts* foram essenciais para assegurar que o simulador não apenas representasse visualmente os equipamentos, mas também permitisse uma experiência interativa e educativa.

Tomando o contactor como exemplo, sabe-se que o contactor real é acionado por meio de uma bobina em seu interior. Para replicar esse comportamento, foi trabalhada a animação da bobina do contactor virtual no momento em que o mesmo fosse acionado. Utilizando as ferramentas de animações da Unity e *scripts* em C#, foi criada uma animação que simula o movimento da bobina do contactor ao ser acionada e desacionada, simulando o funcionamento real do dispositivo. É possível observar a bobina acionada e desacionada na Figura 4.

Figura 4 – Bobina do contactor.



Fonte: Próprio Autor

Além disso, um contactor acionado tem um som característico ao energizar e desenergizar sua bobina, servindo como um indicativo sonoro de atuação no circuito de comandos elétricos. Para reproduzir essa característica no simulador, foi adicionado o som de um contactor atuando no momento em que a bobina é ativada. A partir da ferramenta da Unity, como a *Audio Source*, foi possível integrar esse som ao simulador, proporcionando uma experiência mais realista.

Quanto ao funcionamento do contactor, é importante destacar que um contactor real possui contatos de força, da bobina e de comando. Os bornes de força são representados por L1-T1, L2-T2, L3-T3, os bornes da bobina por A1-A2, e os bornes de comando auxiliares por Normal Aberto (NA) (13-14) e Normal Fechado (NF) (21-22). O acionamento de um contactor se dá pela energização de sua bobina, que fecha os contatos de força, os contatos auxiliares NA se fecham e os NF se abrem.

Para replicar esse comportamento no ambiente virtual, foi desenvolvido um *script* em C# que controla a animação e o estado do contactor no simulador. O Programa 1, é responsável por simular o processo de energização e desenergização do contactor, atualizando a animação correspondente e os estados visuais na interface do usuário.

Programa 1 – Animação do Contactor.

```

1  private void AtualizarContator()
2  {
3      if (A1 && A2)
4      {
5          // Ativar contator e iniciar a animação
6          L1 = L2 = L3 = true;
7          T1 = T2 = T3 = true;
8          NA13 = NA14 = true;
9          NF21 = NF22 = false;
10
11         if (!animacaoExecutada)
12         {
13             anim.Play();
14             animacaoExecutada = true;
15
16             // Atualizar UI para o estado energizado
17             imagemDesenergizada.gameObject.SetActive(false);
18             imagemEnergizada.gameObject.SetActive(true);
19         }
20     }
21     else
22     {
23         // Desativar contator e reverter a animação se necessário
24         ResetContator();
25
26         if (animacaoExecutada)
27         {
28             animacaoInversa = true;
29
30             if (animacaoInversa)
31             {
32                 anim[animacao.name].speed = -1;
33                 anim[animacao.name].time = anim[animacao.name].length;
34
35                 // Atualizar UI para o estado desenergizado
36                 imagemDesenergizada.gameObject.SetActive(true);
37                 imagemEnergizada.gameObject.SetActive(false);
38             }
39
40             anim.Play();
41             animacaoExecutada = false;
42         }
43     }
44 }
45
46

```

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A construção do laboratório virtual trouxe à tona diversos resultados. A seguir, realiza-se uma análise detalhada dos componentes modelados. A análise tem como objetivo evidenciar o quão real ficou os modelos digitalizados do laboratório no contexto de acionamento e comandos de máquinas elétricas.

A Figura 5 ilustra a tela inicial do *software* desenvolvido para o laboratório virtual de comandos e acionamento de máquinas elétricas. Esta interface foi projetada de maneira intuitiva e organizada, com o objetivo de facilitar a navegação e o acesso às principais funcionalidades do simulador. A seguir são apresentadas as opções e funcionalidades da tela inicial do *software*.

1. Simular: Esta opção possibilita o início de uma simulação, proporcionando ao usuário uma experiência interativa e prática dos comandos elétricos em um ambiente controlado e seguro, permitindo andar pelo laboratório e interagir com as bancadas.
2. Dispositivos: Ao selecionar esta opção, é permitido ao usuário explorar os diversos dispositivos disponíveis no laboratório virtual, tais como motores, disjuntores e controladores, possibilitando um aprendizado detalhado sobre cada componente.
3. Práticas: Esta seção oferece uma visão mais fixa da bancada, focando em uma única prática por vez.
4. Sair: A opção de sair permite o encerramento da sessão de forma rápida e segura.

Figura 5 – Menu do simulador.



Fonte: Próprio Autor

A primeira funcionalidade a ser destacada é a de Dispositivos, ao selecionar esta opção, é permitido ao usuário explorar os diversos dispositivos disponíveis no laboratório virtual conforme vista na Figura 6, a tela apresenta dispositivos tais como disjuntores e contactores, sinaleiras e botoeiras. Esta funcionalidade possibilita um aprendizado detalhado sobre cada componente, permitindo ao usuário observar suas características e entender seu funcionamento.

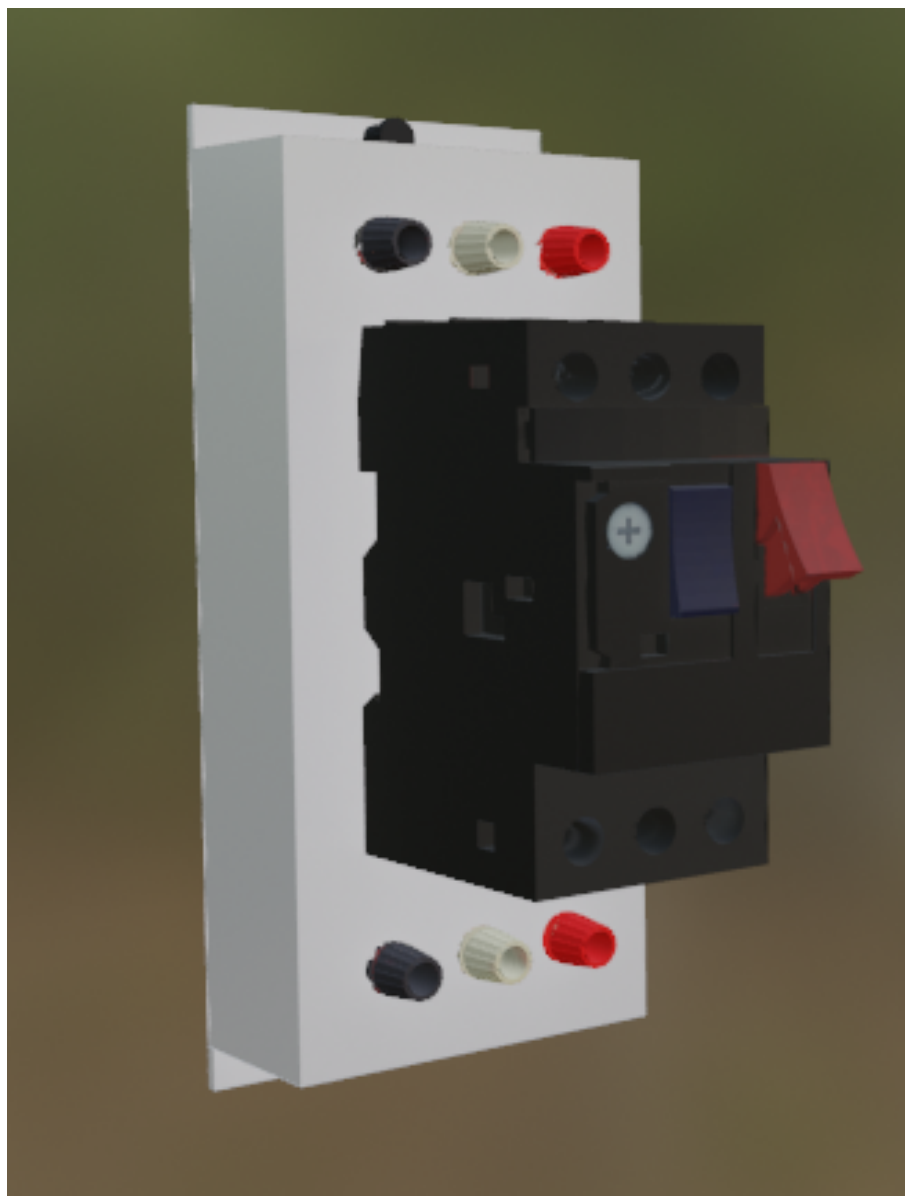
Figura 6 – Opção Dispositivos.



Fonte: Próprio Autor

Conforme visto na Figura 6, é permitido ao usuário escolher qual dispositivo deseja ser visualizado mais de perto, proporcionando uma análise detalhada e interativa de cada componente. Na Figura 7 é possível observar uma visualização detalhada do modelo 3D do disjuntor motor. Esta representação permite ao usuário analisar com precisão cada elemento do dispositivo, facilitando a compreensão das suas características e funcionamento.

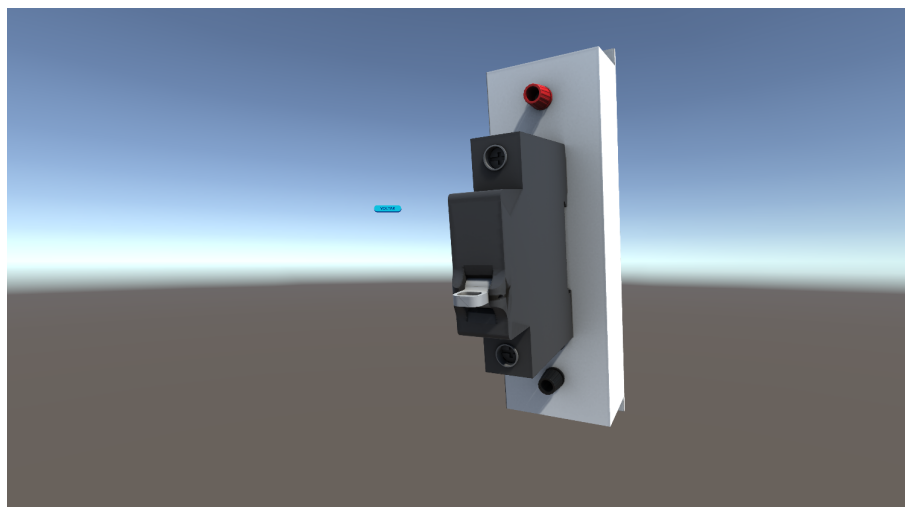
Figura 7 – Disjuntor motor.



Fonte: Próprio Autor

Após a análise do disjuntor motor, a Figura 8 apresenta o modelo 3D do disjuntor monopolar. A visualização proporciona uma compreensão clara do componente, proporcionando a um usuário compreender as diferenças físicas entre o disjuntor motor e o monopolar.

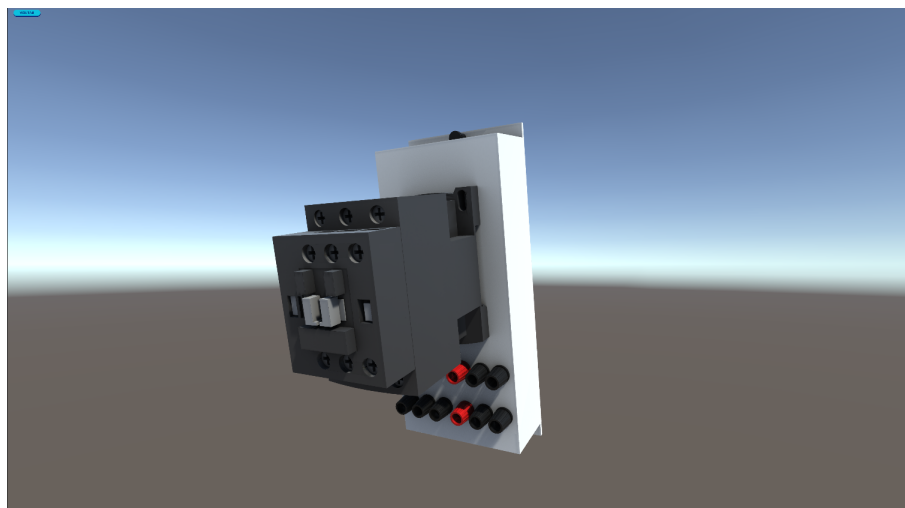
Figura 8 – Disjuntor monopolar.



Fonte: Próprio Autor

Após a análise dos disjuntores, a Figura 9 apresenta o modelo 3D do contactor, mostrando sua parte externa com um alto nível de realismo. Esta visualização ajuda o usuário a distinguir o contactor de outros equipamentos e a se familiarizar com sua aparência.

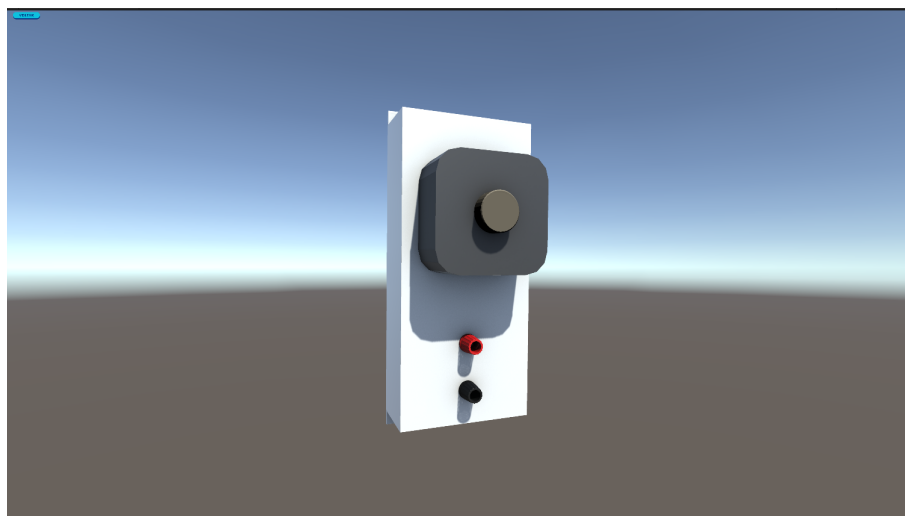
Figura 9 – Contactor.



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 10, é apresentado o modelo 3D da sinaleira, que permite ao usuário visualizar os detalhes desse dispositivo de sinalização, fundamental para indicar o *status* de operação de máquinas e equipamentos.

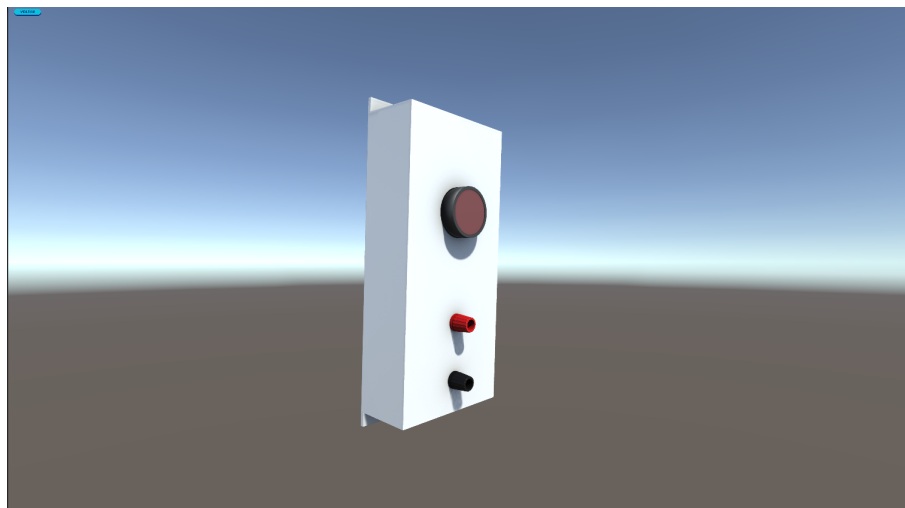
Figura 10 – Sinaleira.



Fonte: Próprio Autor

Por fim, a Figura 11 mostra a botoeira em 3D. Esta figura oferece uma visão clara do dispositivo de comando, utilizado para acionar ou interromper operações em circuitos elétricos, proporcionando uma melhor compreensão de seu design e funcionalidade.

Figura 11 – Botoeira.



Fonte: Próprio Autor

A opção Práticas oferece uma visão mais fixa da bancada, tal como o que é mostrado na Figura 12, focando em uma única prática por vez. Esta seção é projetada para guiar o usuário através de atividades específicas, facilitando a aplicação prática dos conhecimentos teóricos em situações que simulam o ambiente de um laboratório real. As teclas para movimentação no ambiente virtual do laboratório são as mesmas frequentemente utilizadas em jogos de primeira pessoa, como as teclas 'W', 'A', 'S', 'D' para movimentação para frente, esquerda, trás e direita, respectivamente. O mouse não executa apenas ações interativas no ambiente, como também é utilizado para al-

terar a direção do olhar do usuário, oferecendo uma experiência imersiva e intuitiva, principalmente para aqueles familiarizados com jogos em primeira pessoa.

Figura 12 – Opção Práticas.



Fonte: Próprio Autor

A visão mais focada permite ao usuário concentrar-se, proporcionando uma opção mais minimalista e direcionada. Esta abordagem é ideal para exibir a bancada de práticas de maneira mais fechada, destacando exclusivamente as atividades sem as distrações do ambiente do laboratório. A cor da bancada nesse módulo é diferente, devido ao tempo prolongado que o usuário pode passar em frente à tela, tendo em vista que o fundo de cor clara pode causar desconforto visual.

A principal opção na tela inicial é a Simular, que possibilita o início de uma simulação, como mostrado em Figura 13, no qual proporciona ao usuário uma experiência interativa e prática dos comandos elétricos em um ambiente controlado e seguro. Através desta opção, o usuário pode andar pelo laboratório virtual e interagir com as bancadas, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos conceitos estudados e a aplicação prática do conhecimento adquirido e criar uma maior familiaridade com o laboratório do IFPE - campus Pesqueira.

Figura 13 – Opção Simular.



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 14, é apresentada uma visão geral do laboratório virtual, destacando a disposição das bancadas e o layout do espaço, o que oferece ao usuário uma primeira impressão do ambiente.

Figura 14 – Perspectiva 1 do ambiente do laboratório virtual.



Fonte: Próprio Autor

A Figura 15 focaliza em um corredor específico do laboratório, destacando bancadas e equipamentos em detalhe. Esta perspectiva também apresenta elementos adicionais que não existem no laboratório real, como uma bancada de manutenção e capacetes, acrescentados para enriquecer a experiência visual e prática do usuário.

Figura 15 – Perspectiva 2 do ambiente do laboratório virtual.



Fonte: Próprio Autor

A Figura 16 mostra algumas bancadas e a estante de motores vista de lado, representando a perspectiva de quem entra pela porta do simulador. Esta visão oferece uma primeira impressão do layout e organização do espaço ao usuário.

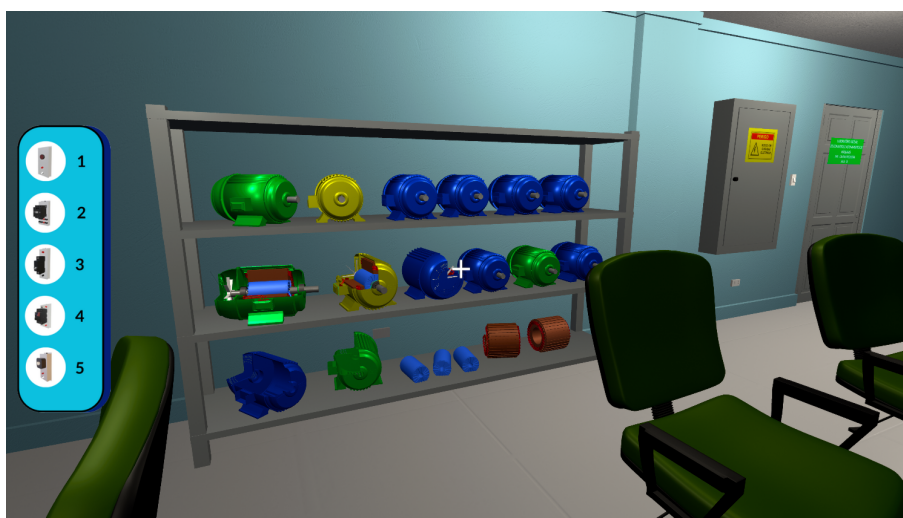
Figura 16 – Perspectiva 3 do ambiente do laboratório virtual.



Fonte: Próprio Autor

A Figura 17 destaca a estante de motores, um elemento presente no laboratório real, e apresenta um quadro elétrico. Este quadro foi intencionalmente projetado no *software* de forma mais robusta para chamar a atenção do usuário em relação a segurança, mesmo que seja no simulador, um enriquecimento de detalhes é crucial para passar a sensação de imersão.

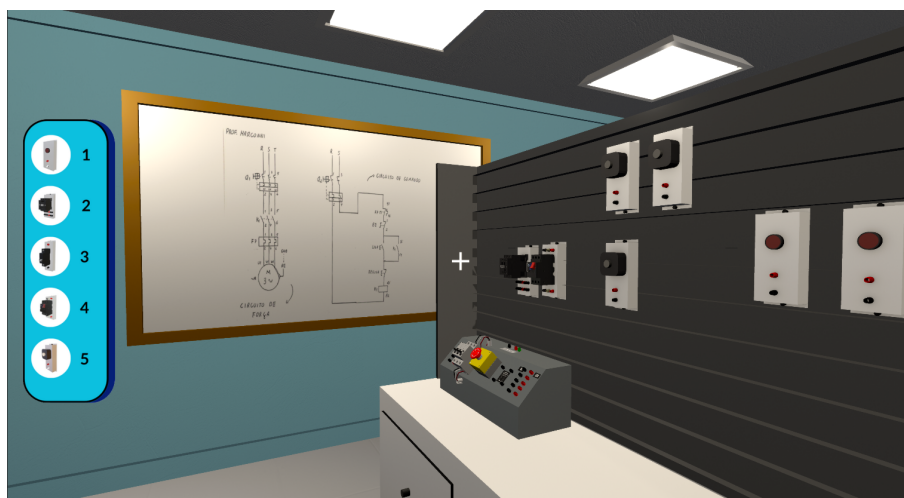
Figura 17 – Perspectiva 4 do ambiente do laboratório virtual.



Fonte: Próprio Autor

A Figura 18 apresenta a visão do quadro com um diagrama de uma partida direta e a bancada. Esta perspectiva simula a visão típica de um aluno que se senta próximo à porta no laboratório real, permitindo observar simultaneamente parte da bancada e o quadro.

Figura 18 – Perspectiva 5 do ambiente do laboratório virtual

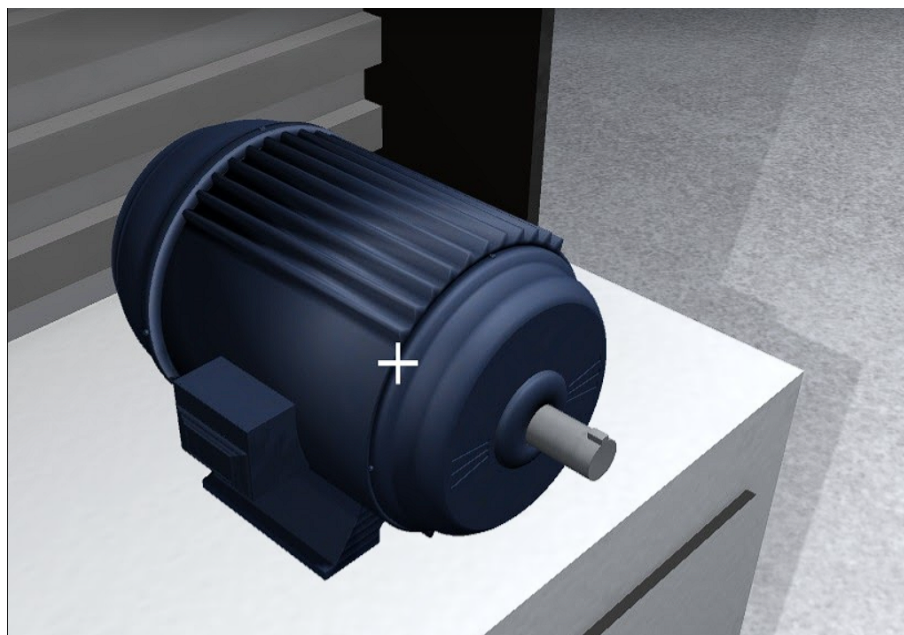


Fonte: Próprio Autor

Ademais, é pertinente apresentar imagens detalhadas do motor e da bancada.

A Figura 19 apresenta o modelo 3D de um motor, cuidadosamente modelado para ser idêntico ao visto no laboratório real. Este nível de detalhamento visa proporcionar ao usuário a máxima imersão, permitindo uma experiência mais realista e familiar no ambiente virtual.

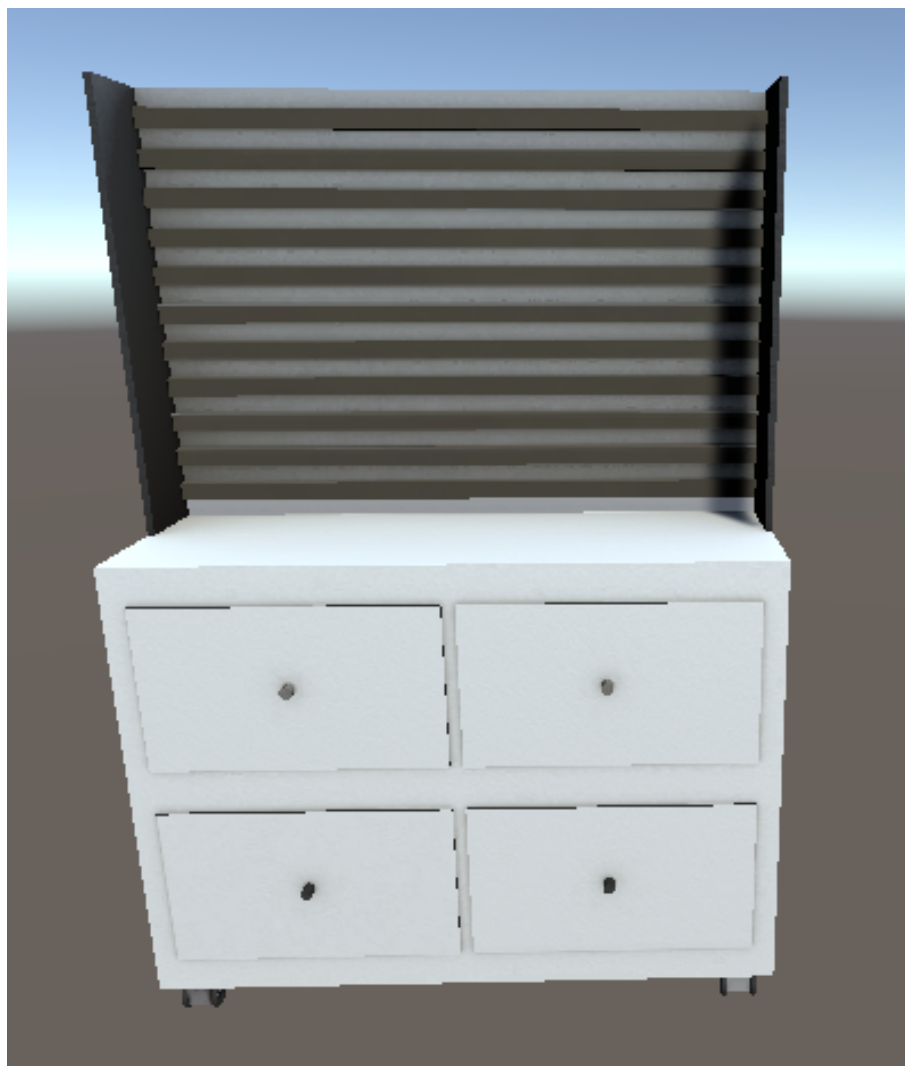
Figura 19 – Motor de indução trifásico.



Fonte: Próprio Autor

A Figura 20 apresenta o modelo 3D da bancada presente na opção Simular. Embora tenham sido implementadas algumas modificações, o *design* preserva a essência e as principais características da bancada original, facilitando o reconhecimento e a adaptação dos usuários ao ambiente simulado.

Figura 20 – Bancada de comandos.



Fonte: Próprio Autor

Devido ao potencial de proteção industrial, os *scripts* não serão exibidos neste trabalho. A divulgação dos detalhes do código poderia comprometer a propriedade intelectual e a inovação tecnológica envolvida no projeto. Assim, as informações apresentadas são focadas em aspectos gerais que não comprometem a segurança ou os direitos autorais relacionados ao *software* desenvolvido.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu um simulador para atividades práticas da disciplina de comandos elétricos, criando um ambiente virtual e tridimensional que permite aos usuários interagir com os equipamentos de laboratório. Os resultados mostraram que os componentes simulados possuem características visuais muito próximas aos equipamentos reais do laboratório, sendo assim, conclui-se que o trabalho atingiu plenamente seus objetivos. O uso dos *softwares* permitiu a criação de ferramentas úteis no ensino de conteúdos muitas vezes limitados pelo acesso restrito e pela periculosidade dos

equipamentos físicos. O laboratório virtual auxilia os alunos na realização de experimentos, que depois serão feitos em sala de aula, melhorando a compreensão prática e teórica dos conceitos e oferecendo aos professores mais tempo para discutir outros tópicos importantes, enriquecendo o processo de ensino e aprendizagem.

O laboratório virtual desenvolvido não só beneficia o ensino acadêmico, mas também pode ser aplicado em treinamentos industriais, onde a segurança e a familiaridade com os equipamentos são cruciais. Durante o desenvolvimento do simulador, um dos maiores desafios foi projetar cabos e conexões que fossem visualmente realistas e funcionais dentro do ambiente virtual. A modelagem desses elementos, embora essencial para garantir a imersão no simulador, exigiu um nível de detalhamento e precisão que se mostrou bastante complexo, especialmente para garantir que as conexões simuladas refletissem de forma adequada a realidade física dos cabos em um sistema elétrico.

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas, como a necessidade de maior sofisticação na simulação de tipos variados de partidas de motores e a limitada gama de dispositivos simulados atualmente. Essas limitações oferecem oportunidades para futuras pesquisas e desenvolvimentos. Algumas sugestões de aprimoramentos e expansões incluem:

- **Melhoria da Lógica para Motores:** Implementar uma lógica mais sofisticada que possibilite simulações de diferentes tipos de partidas de motores, além das partidas diretas. Isto incluiria partidas estrela-triângulo, partida com autotransformador e partidas com resistência.
- **Adesão de Outros Componentes:** Expandir o conjunto de dispositivos disponíveis no laboratório virtual com a inclusão de Controladores Lógicos Programáveis (CLP), Relés, *Soft Starters* e Inversores de Frequência. A adição destes componentes permitiria uma maior diversidade de práticas e experiências de simulação, enriquecendo o aprendizado dos usuários.
- **Interface de Usuário Aprimorada:** Continuar a aprimorar a interface do usuário, visando torná-la ainda mais intuitiva e funcional, facilitando a navegação e a interação com o laboratório virtual.
- **Estudos de Usabilidade:** Conduzir estudos de usabilidade para avaliar a eficácia das novas funcionalidades e componentes adicionados, garantindo que atendam às necessidades educacionais dos usuários e proporcionem uma experiência de aprendizado efetiva.

A implementação destas melhorias e expansões tem o potencial de elevar ainda mais a qualidade e a utilidade do laboratório virtual, tornando-o uma ferramenta adicional que complementa o ensino e treinamento em engenharia elétrica.

REFERÊNCIAS

- GONÇALVES, Marconni Freitas Barroso Ribeiro; MAGALHÃES, Luís Carlos Cordeiro et al. **Análise e aplicação da digitalização de um motor de indução trifásico utilizando ambiente computacional**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/99588>>.
- REIS, Renan Oliveira. **Laboratório virtual de Eletrônica**. [S.l.: s.n.], ago. 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/31297>>.
- ROCHA, Daniel et al. Desenvolvimento de uma plataforma auxiliar para ensino de máquinas elétricas empregando realidade virtual. **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE**, v. 24, n. 1, p. 925, 2013. ISSN 2316-6533. DOI: 10.5753/cbie.sbie.2013.925. Disponível em: <<http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/2574>>.
- RODRIGUES, Jhonson de Souza. **Simulador das Práticas realizadas na disciplina de Máquinas Elétricas Utilizando o motor de Jogo UNITY3D**. [S.l.: s.n.], mar. 2017. Disponível em: <<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/405>>.
- TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. **Introdução a realidade virtual e aumentada 3a Edição**. [S.l.]: Porto Alegre: Editora SBC, nov. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/sbc.6654.2>>.
- TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. [S.l.]: Editora SBC, 2006.

6 AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as bênçãos e pela força concedida ao longo desta jornada. Sua presença é um guia constante em minha vida, iluminando o caminho e ajudando-me a ter discernimento. Como diz a Escritura: 'Examinai tudo e retende o que é bom' (1 Tessalonicenses 5:21).

Aos meus pais, que são os pilares da minha existência, expresse minha profunda gratidão pelo amor incondicional, pelo apoio incessante e pela educação que recebi. Vocês me proporcionaram os valores que sustentam tanto meu desenvolvimento pessoal quanto acadêmico. A fé que depositaram em minhas capacidades foi a base sobre a qual construí este trabalho, meu caráter e minha trajetória.

Às minhas irmãs e ao meu cunhado, agradeço pela presença constante, pelo carinho e pelo incentivo que me ofereceram ao longo deste percurso. O apoio emocional e a motivação que vocês me proporcionaram foram fundamentais para superar os desafios encontrados.

Aos amigos que me acompanharam nesta jornada, minha sincera gratidão por estarem ao meu lado nos momentos difíceis e por celebrarem cada conquista. A amizade e o apoio de vocês foram essenciais para que eu seguisse em frente.

Um agradecimento especial ao meu quarteto da Engenharia e ao quarteto do tempo do ensino médio, cujas amizades são tesouros que levarei para toda a vida. A cumplicidade e o companheirismo de vocês fizeram toda a diferença, tanto nos momentos de estudo quanto nas alegrias que compartilhamos.

Agradeço à minha família, tia, padrinho, primos, por todo o carinho e suporte, e aos meus colegas, cuja camaradagem tornou esta jornada mais leve e gratificante.

Aos professores, mestres cujas orientações foram luz ao longo deste caminho, expressei minha profunda gratidão. Cada lição, conselho e incentivo que recebi foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e pessoal. Suas contribuições inspiraram-me a perseverar e alcançar novos patamares.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Prof. Dr. Marconni Freitas Barroso Ribeiro Gonçalves, por acreditar no potencial desta ideia e por guiar este trabalho com dedicação e apoio incondicional. Sua confiança foi crucial para a concretização deste projeto.

Por fim, um agradecimento especial aos meus colegas de projeto, Cassiano de Melo, Nathan Maciel, Phillipe Ferreira e Rennan Magalhães. Cassiano e Rennan são brilhantes e demonstram um grande potencial, sempre se destacando em tudo que se dedicam a fazer. Nathan, por sua vez, provou ser um cara fora da curva, um verdadeiro exemplo de excelência. Os três têm a habilidade notável de fazer com que as tarefas mais complexas pareçam simples. Sua colaboração, trabalho árduo e parceria foram essenciais para a realização deste TCC. Agradeço por serem parte desta equipe excepcional que possibilitou a conclusão deste trabalho.

Também gostaria de expressar minha gratidão às outras pessoas que, embora tenham passado rapidamente pelo projeto, contribuíram de maneira significativa para o seu desenvolvimento.

A todos, deixo registrado o meu sincero e profundo agradecimento. Afinal, somos o resultado da soma de todos que passam por nossas vidas, e cada um de vocês contribuiu de forma inestimável para quem sou hoje. Sempre busquem deixar boas marcas na vida do outro, pois o que fazemos em vida, ecoa na eternidade.