



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA (CCT)
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DANIEL REBOUÇAS JAGUARIBE

LABORATÓRIO DE SUBESTAÇÃO BASEADO EM REALIDADE VIRTUAL
APLICADO AO ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FORTALEZA

2022

DANIEL REBOUÇAS JAGUARIBE

LABORATÓRIO DE SUBESTAÇÃO BASEADO EM REALIDADE VIRTUAL APLICADO
AO ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

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

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio

Coorientador: Prof. Dr. Antônio José Melo Leite Júnior

FORTALEZA

2022

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

- J231 Jaguaribe, Daniel Rebouças.
Laboratório de Subestação baseado em realidade virtual aplicado ao ensino de Engenharia Elétrica /
Daniel Rebouças Jaguaribe. – 2022.
53 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Raimundo Furtado Sampaio.
Coorientação: Prof. Dr. Antônio José Melo Leite Júnior.
1. Metodologias ativas. 2. Subestação Virtual. 3. Treinamento. 4. Engenharia Elétrica. 5. Virtualização.
CDD 621.3
-

DANIEL REBOUÇAS JAGUARIBE

LABORATÓRIO DE SUBESTAÇÃO BASEADO EM REALIDADE VIRTUAL APLICADO
AO ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

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

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio José Melo Leite
Júnior (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Tomaz Nunes Cavalcante Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada. Tia Vicência, por me ensinar a virtude da educação.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, que acreditaram em mim e me deram o suporte necessário para que eu conseguisse focar em meu desenvolvimento educacional.

À minha namorada, que se fez presente em prestando o amor e o suporte necessário para que eu conseguisse enfrentar os desafios da graduação.

Aos meus professores orientadores deste projeto, Professor Raimundo Furtado, Professor Giovanni Barroso e Professor Melo Júnior, os quais ofereceram um exímio suporte para o desenvolvimento do presente trabalho.

A todos os meus amigos que me prestaram suporte emocionou para enfrentar os desafios da graduação.

Aos professores Átila Girão, Bruno Ricardo, Gabriel Bezerra, wilkley correia, Raimundo Furtado e Ruth Leão pelos ensinamentos como meus orientadores de monitoria e pesquisa durante a faculdade.

RESUMO

As discussões acerca de modificações no processo de ensino aprendizagem aumentaram muito nos últimos anos, principalmente por conta da pandemia COVID-19. Dentro deste contexto, a objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia de ensino utilizando uma subestação real e um Sistema de Treinamento de Operação e Proteção de Subestação Elétrica em realidade virtual, nomeado STOP 3D, aplicado ao ensino de várias disciplinas do curso de Engenharia Elétrica. A aplicação da metodologia proposta tem o intuito de melhorar a aprendizagem dos alunos de Engenharia Elétrica da UFC nas disciplinas que abordam o conteúdo de subestações. O STOP 3D foi desenvolvido para recriar, de forma virtual, uma subestação real e possibilita, aos estudantes, um bom grau de liberdade para explorarem os ambientes e os equipamentos da subestação. Em seu desenvolvimento, foram utilizados os softwares Unity, como engine da aplicação, e o software Blender, para modelagem em 3D dos equipamentos e das estruturas da subestação. Com a finalidade de aferir uma possível melhora de desempenho, foi aplicada uma metodologia que compara o desempenho dos alunos antes e depois da aula teste e os resultados foram bons, indicando uma melhora significativa no desempenho dos discentes. Por fim, foi realizada uma pesquisa, baseada na UES - SV, de satisfação e engajamento dos alunos para com a ferramenta e para com a metodologia e os insumos adquiridos constatam que vale a pena o gasto de energia, por parte do corpo docente, em idealizar ferramentas e metodologias ativas que visam melhorar a formação dos alunos.

Palavras-chave: Metodologias ativas. Subestação virtual. Treinamento. Engenharia Elétrica. Virtualização

ABSTRACT

Discussions about changes in the teaching-learning process have increased greatly with the last few years, mainly because of the COVID-19 pandemic. In this context, with in order to improve the learning of Electrical Engineering students at UFC in the area of substations, a software was developed that recreates, in a virtual way, a real substation and allows students an excellent degree of freedom to explore the environments and substation equipment. In its development, Unity software was used, as the application engine, and Blender software, for 3D modeling of substation equipment and structures. In order to assess a possible improvement in performance, a methodology was carried out that compares the performance of students before and after the test class and the results were good, indicating a significant improvement in the performance of students. Finally, a survey was carried out, based on the UES - SV, on the satisfaction and engagement of the students with the tool and with the methodology and the acquired inputs. to devise active tools and methodologies that aim to improve students training.

Keywords: Active methodologies. Virtual substation. Training. Electrical engineering. Virtualization.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Óculos de RV e data gloves. | 17 |
| Figura 2 – Interface Blender | 18 |
| Figura 3 – Interface Unity | 19 |
| Figura 4 – Diagrama unifilar da subestação Pici | 26 |
| Figura 5 – Interface Unity para aplicação | 27 |
| Figura 6 – Pátio da subestação | 28 |
| Figura 7 – Entrada de linha da subestação virtual. | 28 |
| Figura 8 – Transformador de corrente virtual. | 29 |
| Figura 9 – Barramento de alta tensão. | 29 |
| Figura 10 – Vão de transformação. | 30 |
| Figura 11 – Vão de transformação. | 30 |
| Figura 12 – Casa de comando. | 31 |
| Figura 13 – Interação notebook com relé. | 31 |
| Figura 14 – Metodologia base da Interactions 500. | 33 |
| Figura 15 – Metodologia utilizada para o estudo de caso. | 34 |
| Figura 16 – Desempenho dos discentes no primeiro pré-teste 2021.2. | 36 |
| Figura 17 – Desempenho dos discentes no primeiro pós-teste 2021.2. | 37 |
| Figura 18 – Usabilidade da ferramenta 2021.2. | 38 |
| Figura 19 – Atenção focada 2021.2. | 38 |
| Figura 20 – Felicidade do usuário 2021.2. | 38 |
| Figura 21 – Desempenho dos discentes no primeiro pré-teste 2022.1. | 39 |
| Figura 22 – Desempenho dos discentes no primeiro pós-teste 2022.1. | 39 |
| Figura 23 – Usabilidade da ferramenta 2021.2. | 41 |
| Figura 24 – Atenção focada 2021.2. | 41 |
| Figura 25 – Felicidade do usuário 2021.2. | 41 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | Justificativa e motivação | 11 |
| 1.2 | Objetivos | 12 |
| <i>1.2.1</i> | <i>Objetivo Geral</i> | <i>12</i> |
| <i>1.2.2</i> | <i>Objetivos Específicos</i> | <i>12</i> |
| 1.3 | Estrutura do trabalho | 13 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 2.1 | Introdução | 14 |
| 2.2 | Subestação de Energia Elétrica | 14 |
| 2.3 | Realidade Virtual | 15 |
| <i>2.3.1</i> | <i>Os pilares da realidade virtual</i> | <i>15</i> |
| <i>2.3.2</i> | <i>Vantagens e desvantagens da Realidade Virtual</i> | <i>15</i> |
| <i>2.3.3</i> | <i>Sistemas imersivos e não imersivos</i> | <i>16</i> |
| 2.4 | Ferramentas de modelagem e desenvolvimento de aplicações em realidade virtual | 17 |
| <i>2.4.1</i> | <i>Modelagem</i> | <i>17</i> |
| <i>2.4.1.1</i> | <i>Blender 3D</i> | <i>17</i> |
| <i>2.4.1.2</i> | <i>Desenvolvimento</i> | <i>18</i> |
| 2.5 | Metodologias de Ensino | 18 |
| 2.6 | Trabalhos correlatos | 20 |
| 2.7 | Considerações Finais | 22 |
| 3 | SUBESTAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL | 23 |
| 3.1 | Introdução | 23 |
| 3.2 | Metodologia de ensino | 23 |
| <i>3.2.1</i> | <i>Objetivo Geral</i> | <i>23</i> |
| <i>3.2.2</i> | <i>Objetivos Específicos</i> | <i>24</i> |
| <i>3.2.3</i> | <i>Planejamento da aula</i> | <i>24</i> |
| 3.3 | Descrição da Subestação do Pici | 24 |
| 3.4 | Subestação Virtual | 26 |
| <i>3.4.1</i> | <i>Blender</i> | <i>26</i> |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.4.2 | <i>Unity</i> | 27 |
| 4 | METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE ENSINO E TESTE DE ENGA- JAMENTO | 32 |
| 4.1 | Introdução | 32 |
| 4.2 | Metodologia de Avaliação de Ensino | 32 |
| 4.3 | Teste de engajamento | 34 |
| 5 | RESULTADOS | 36 |
| 5.1 | Semestre 2021.2 - Disciplina de Geração, Transmissão e Distribuição . . | 36 |
| 5.1.1 | <i>Avaliação de desempenho</i> | 36 |
| 5.1.2 | <i>Pesquisa de engajamento</i> | 37 |
| 5.2 | Semestre 2022.1 - Disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência | 39 |
| 5.2.1 | <i>Avaliação de desempenho</i> | 39 |
| 5.2.2 | <i>Pesquisa de engajamento</i> | 40 |
| 6 | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS | 42 |
| | REFERÊNCIAS | 43 |
| | APÊNDICES | 46 |
| | APÊNDICE A – Pesquisa de satisfação semestre 2021.2 | 46 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e motivação

Não é de hoje que o processo de ensino aprendizagem passa por grandes desafios no que se diz respeito à formação de profissionais capazes de lidar com as constantes mudanças impostas pelo avanço tecnológico, tornando-se, assim, um desafio tanto para professores, quanto para os alunos. Nos últimos anos, muito se têm questionado sobre as modificações curriculares, especialmente na prática docente, no intuito de formar indivíduos com novas habilidades e competências necessários aos profissionais que lidam com as constantes transformações em curso na sociedade moderna (LIMA, 2018).

Sob a ótica defendida acima, diversos autores convergem para um discurso ideológico que defende a necessidade de grandes mudanças na esfera educacional. Em (BLIKSTEIN, 2012) o autor destaca o grande potencial de aprendizagem que é desperdiçado nas escolas em consequência de ideias educacionais obsoletas. Em (MILLER *et al.*, 2008) o autor expõe sua visão em relação a perspectiva do cenário educacional na modernidade, na qual entende que a escola tradicional deve ser modificada para novos espaços de aprendizagem com o foco no desenvolvimento de indivíduos para sociedade do século 21.

Neste ambiente de mudança e de muitas dúvidas acerca do modelo de educação tradicional, as metodologias de ensino nos cursos de Engenharia tem sido objetivo de muitos questionamentos. Segundo (GOLDBERG, 2010), é preocupante o fato de algumas habilidades essenciais para o Engenheiro não sejam estimuladas nos cursos de graduação em engenharia, como por exemplo, a capacidade para analisar problemas, propor soluções e decompor problemas complexos em menores. Diante desta situação, tem-se buscado aplicar metodologias ativas de ensino aprendizagem que insiram o aluno no centro do aprendizado, tornando-o protagonista da sua própria aprendizagem, diferente do modelo tradicional, em que o docente exerce o papel de dono do saber e o único responsável por guiar a turma para o conhecimento pleno, conforme afirmam (BARBOSA; MOURA, 2014) e (BARDINI; SPALDING, 2017).

Diante disso, a pauta acerca do impacto positivo das metodologias ativas na educação dos discentes ganhou muita relevância nos últimos anos, principalmente com a pandemia global da COVID 19 (MOREIRA *et al.*, 2020). O advento das tecnologias que promovem a criação de um ambiente virtual de aprendizagem, como jogos ou simuladores, tem proporcionado, aos discentes, diversas vivências com situações realísticas e que podem ser encontradas no dia-a-dia

do profissional moderno de engenharia (PFAHL *et al.*, 2000).

Baseado no que foi abordado acima, o Grupo de Redes Elétricas Inteligentes (GREI), sediado na Universidade Federal do Ceará (UFC) desenvolveu um software de simulação em 3D que visa transformar o aluno em protagonista da própria aprendizagem, fornecendo a experiência única de visitar uma subestação virtual e desenvolver conhecimentos mais específicos sobre subestações.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo Geral*

O objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia de ensino utilizando uma subestação (SE) real e um Sistema de Treinamento de Operação e Proteção de Subestação Elétrica em realidade virtual, nomeado STOP 3D, aplicado ao ensino de várias disciplinas do curso de Engenharia Elétrica.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

Dentre dos objetivos listados para o desenvolvimento do STOP 3D, estão:

- Apresentar o processo de modelagem da SE com a ferramenta Blender para o desenvolvimento dos equipamentos utilizado no STOP 3D;
- Apresentar o processo de desenvolvimento do STOP 3D utilizando a ferramenta Unity;
- Apresentar a metodologia aplicada ao ensino de subestação utilizando o STOP 3D;
- Levar os alunos a uma visita de uma subestação em um ambiente de realidade virtual com o intento de proporcionar a oportunidade de conhecer os componentes e o funcionamento de uma subestação;
- Aplicar avaliações para aferir possível melhoria em desempenho do discente por meio de um pré-teste antes da visita à subestação e um pós-teste após o experimento;
- Apresentar a pesquisa de avaliação do engajamento, baseada na UES - SV, na qual foi aplicada aos discentes, bem como seus resultados expressivos;

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho de conclusão de curso possui um total de cinco capítulos, sendo eles a Introdução, a Fundamentação teórica, a Metodologia, os Resultados e a Conclusão. Os dois primeiros possuem a intenção de introduzir, ao leitor, acerca da temática que será abordada neste documento, bem como fundamentar a pesquisa ilustrando o viés ideológico que foi seguido para o projeto que resultou na produção deste trabalho. A metodologia visa desdobrar os procedimentos realizados para desenvolver o STOP 3D, bem como coletar os resultados pertinentes para validar a hipótese defendida. No quarto capítulo, são apresentados os resultados quantitativos e qualitativos pertinentes à metodologia aplicada e, por fim, a conclusão apresenta o desfecho para o assunto abordado nos demais capítulos.

Nos anexos deste documento, encontram-se os códigos para a implementação das aplicações desenvolvidas na ferramenta Unity, bem como a pesquisa de satisfação da User Engagement Scale - Short Form na qual foi utilizada para mensurar o grau de engajamento dos discentes para com a aplicação que foi desenvolvida e para aferir a satisfação dos alunos para com a metodologia utilizada na aula.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado os documentos científicos os quais serviram para embasar para a construção da subestação virtual. Além disso, também é ilustrado os avanços das metodologias ativas para as engenharias e desenvolvimentos semelhantes ao da aplicação do STOP 3D.

2.2 Subestação de Energia Elétrica

O sistema elétrico de potência (SEP) é composto dos seguimentos de Geração, Transmissão, Distribuição de energia elétrica e instalações dos consumidores de média e alta tensão (GERS; HOLMES, 2004). No SEP, as subestações (SEs) são responsáveis pela interconexão entre as várias partes do sistema elétrico. Dependendo da sua finalidade no SEP, as SEs podem ser classificadas em seccionadoras, coletoras, elevadoras, abaixadoras, distribuidoras, dentre outras (SAMPAIO, 2002).

Uma subestação consiste em um conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas (PRODIST, 2018). SEs são compostas por um conjunto de elementos, com funções específicas no sistema elétrico, denominados vãos ou bays, que permitem a decomposição da subestação em módulos (SAMPAIO, 2002). Segundo a norma IEC 61.850, os bays consistem em subpartes da subestação, intimamente ligadas e com funcionalidades comuns (COMMISSION, 2003).

As SEs distribuidoras 69-13,8 kV normalmente são compostas dos seguintes vãos: vãos de entrada de linha (EL), saída de linha (SL), barramentos de alta e média tensão (B2 e B1), vão de transformação (TR), vãos de banco de capacitor ou vão de regulação (BC) e vãos de alimentadores (AL). Cada vão da SE é composto de equipamentos de manobra, controle e proteção. As subestações dos consumidores de alta e média tensão são projetadas com base nos critérios da concessionária de energia (SAMPAIO, 2002). O projeto de uma subestação é composto de diversos diagramas elétricos, sendo o diagrama unifilar de operação a primeira representação da subestação. Neste diagrama, os equipamentos da subestação são representados por meio de símbolos e códigos operacionais.

2.3 Realidade Virtual

2.3.1 *Os pilares da realidade virtual*

Em conformidade com o que é defendido por (TORI *et al.*, 2006), é possível afirmar que a Realidade Virtual é considerada uma "interface avançada de usuário" com a finalidade de conectar o usuário com as aplicações encontradas dentro do computador, tendo como principais atributos os de livre movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real e interação com os componentes presentes na aplicação.

A Realidade Virtual também pode ser admitida como um ambiente, tecnologicamente criado, para convencer os usuários que eles estão em outra realidade, haja vista que essa se refere a uma experiência imersiva e interativa alicerçada em imagens gráficas tridimensionais geradas e renderizadas pelo computador (RODRIGUES *et al.*, 2013).

É mister sobrelevar, ainda, que a Realidade Virtual visa proporcionar, ao usuário, uma experiência mais próxima da realidade e, com isso, é priorizada a interação em tempo real em detrimento da qualidade das imagens e sons (SILVA *et al.*, 2012).

2.3.2 *Vantagens e desvantagens da Realidade Virtual*

No que se refere aos ambientes virtuais, pode-se afirmar que a vantagem substancial dos modelos computadorizados deve-se à disponibilidade e à tridimensionalidade de diferentes pontos de observação. Perspectivas e renderizações são geradas, de forma automática, com apenas a movimentação do usuário pelo ambiente, bem como animações e simulações são realizadas com o mínimo de esforço do usuário (GRILO *et al.*, 2001). Por conta da tridimensionalidade, o realismo constitui como um dos pilares dos modelos gerados por computador, podendo reproduzir elementos arquitetônicos em escala real e simular texturas e efeitos luminosos nas superfícies recriadas pelo computador (SILVA *et al.*, 2012).

Em contrapartida a todas as vantagens ofertadas pela tecnologia da Realidade Virtual, ela possui uma série de limitações, sendo elas a questão econômica, a complexidade na aplicação e o fotorrealismo.

Para o primeiro dos apontamentos, faz-se necessário, para o uso da Realidade Virtual, o uso de aparatos tecnológicos que proporcionam a interação do usuário com o ambiente em questão, bem como para desenvolver a aplicação é necessário um computador com certo poder de processamento, limitando, assim, o acesso e o desenvolvimento de ferramentas neste âmbito

(TORI *et al.*, 2006).

Já no que se refere à complexidade na aplicação, sobreleva-se que o uso de diversos dispositivos pode aumentar tempo de processamento e prejudicar a experiência do usuário (TORI *et al.*, 2006). Diante disso, é mister a criação de um planejamento para a implementação da aplicação da melhor forma possível, asseverando que cada equipamento possa proporcionar, no momento no qual lhe foi designado, a sensação correta para o usuário (NUNES *et al.*, 2011).

Já para o último dos três pontos, o fotorrealismo, se refere ao fato de que os ambientes virtuais são desenvolvidos tendo como objetivo o da interação em tempo real com o usuário e, com isso, o realismo da simulação pode ser prejudicado (SILVA *et al.*, 2012). Dessa forma, a Realidade Virtual pode não ser a melhor solução para recriar ambientes cuja necessidade de visualização de detalhes pequenos é muito importante, como por exemplo, na medicina. Vale salientar, ainda, que esta dificuldade tende a ser mitigada com o advento tecnológico e a criação de computadores com maior poder de processamento. Atualmente, *softwares* como a Unreal Engine e a Unity já proporcionam a criação de ambientes virtuais com alto grau de realismo e tempo de resposta satisfatórios.

2.3.3 *Sistemas imersivos e não imersivos*

Comumente, um sistema imersivo é reproduzido com o uso aparatos tecnológicos como o de capacete de visualização, luvas (*data gloves* e *CAVEs* (Cave Automated Virtual Environment) que permitem uma maior interação com o ambiente e grau de imersão (BARROS *et al.*, 2011) e (GRILO *et al.*, 2001). Nesse contexto, a visualização de uma cena na terceira dimensão em um monitor é considerada não imersiva por não permitir que o usuário se encontre inteiramente no ambiente em questão (LESTON, 1996).

Entretanto, existem alguns dispositivos que podem ofertar um grau de imersão, mesmo utilizando monitores (ROBERTSON *et al.*, 1993). Alguns desses dispositivos são encontrados facilmente no mercado a preços acessíveis (BOTEGA; CRUVINEL, 2009) e são conhecidos como periféricos, sendo eles o fone de ouvido, o mouse e o teclado (GRILO *et al.*, 2001).

Figura 1 – Óculos de RV e data gloves.



Fonte: Sony: Playstation VR.

2.4 Ferramentas de modelagem e desenvolvimento de aplicações em realidade virtual

2.4.1 Modelagem

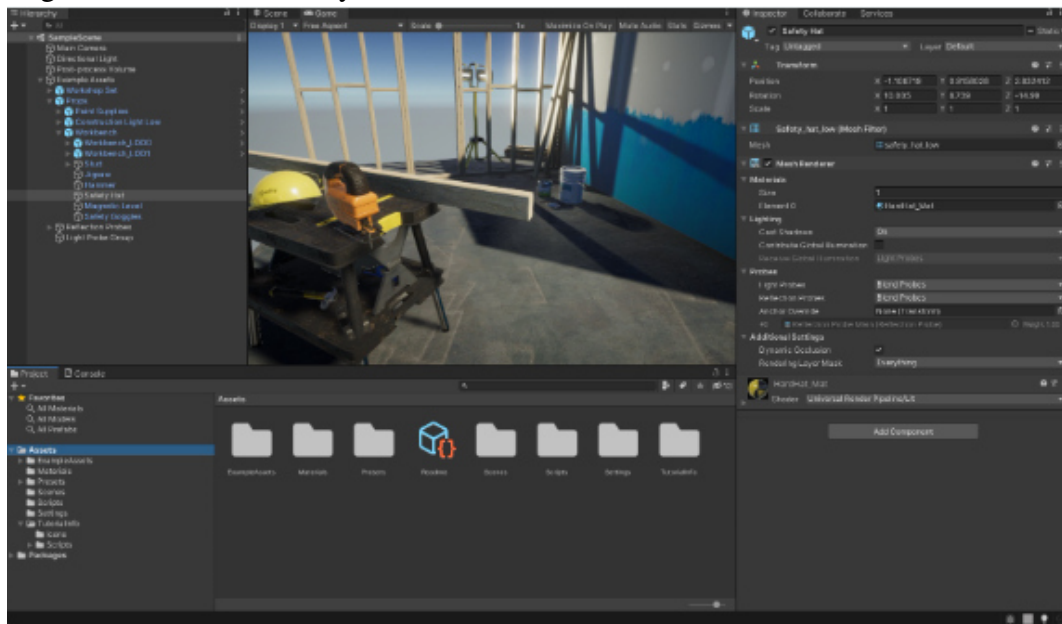
Como etapa primordial do processo de desenvolvimento de um projeto em 3D, a modelagem consiste na criação dos objetos que vão compor o ambiente. Com isso, essa primeira etapa visa criar elementos que podem preencher um espaço de uma aplicação, ou mesmo personagens que serão posteriormente animados, esses elementos são todas representações matemáticas de superfícies tridimensionais reais.

Existem diversos *softwares* no mercado de modelagem 3D, sendo os principais o Blender 3D, o Fusion 360 e o Tinkercad.

2.4.1.1 Blender 3D

O Blender 3D é um software de computador de código aberto (open source), desenvolvido pela Blender Foundation que tem entre suas funções criar animação, modelar compor, renderizar, editar vídeos e criar aplicações interativas em 3D. O programa é multiplataforma disponível para diversos sistemas operacionais. A simplicidade e qualidade da modelagem tem sido destacadas por alguns autores como razão para uso desta ferramenta (MEDEIROS *et al.*, 2021).

Figura 3 – Interface Unity



Fonte: Banco de imagens Unity.

grandes modificações na esfera educacional, haja vista que o modelo tradicional de ensino vem se tornando obsoleto e, por vezes, potencializa as dificuldades cognitivas de aprendizado. Abaixo, será mostrado como há uma preocupação genuína em formar melhores profissionais da área da engenharia elétrica ao desenvolver softwares de diversas formas diferentes, mas que ambos estão alinhado com o mesmo propósito do trabalho defendido em questão, o de impactar, de forma positiva, a educação brasileira e de formar profissionais melhores preparados para os desafios do século XXI.

Para tanto, nos últimos anos foram desenvolvidas as metodologias ativas, que são quando o aluno torna-se protagonista do próprio aprendizado, tendo como objetivo de engajar o aluno para com o processo de aprendizagem (VENTURINI; SILVA, 2018). Para atingir tal objetivo, foram desenvolvidos algumas metodologias, sendo elas:

- Aprendizagem baseada em projetos;
- Aprendizagem por meio de jogos;
- Aprendizagem em equipe.

A aprendizagem baseada em projetos é uma das mais eficazes metodologias utilizadas atualmente para engajar os alunos com o conteúdo de aprendizagem e, por conta disso, a mesma é recomendada por diversos líderes da educação (BENDER, 2015). A mesma se consiste em os discentes elaborarem projetos utilizando os conceitos aprendidos nas disciplinas, pois, assim, os alunos conseguem aprender ao praticar, semelhante ao defendido na cultura maker utilizado na

educação básica (AZEVEDO, 2019).

Já a aprendizagem por meio de jogos se consiste em utilizar ferramentas que atraem a atenção do usuário de forma natural, jogos de forma geral, só que com o viés pedagógico e com uma metodologia de ensino focada em ensino aprendizagem (ALVES; BIANCHIN, 2010).

Para o último, a aprendizagem baseada em equipe visa criar cenários que possibilitam a obtenção de benefícios ao se trabalhar com pequenos grupos de aprendizagem, sendo eles o do desenvolvimento de *soft skills* (BOLLELA *et al.*, 2014).

2.6 Trabalhos correlatos

Sob esta ótica de novas metodologias de ensino, há um movimento, principalmente nas escolas de engenharia, que visa essa modificação e a implementação de uma metodologia mais focado no aluno. Em 2011, na Universidade Federal do Ceará, já se tinha essa preocupação em facilitar o ensino e aprendizagem de sistemas elétricos de potência, com a criação do STOP (Sistema de Treinamento de Operação e Proteção de Subestação distribuidora de energia), um simulador desenvolvido em Java e que é compatível com diversos sistemas operacionais. O software em questão é composto por diagramas unifilares e consegue ilustrar, ao discente, a representação dos principais componentes e consegue simular algumas faltas no sistema que ele exibe em seu programa (SILVA, 2011).

O simulador desenvolvido apresentado neste trabalho é uma evolução do STOP, nomeado STOP3D. Este possui o mesmo intento do software criado em 2011, mas modificando sua visualização para um universo 3D, no qual o aluno possui melhores visualização dos componentes e tem, como objetivo final, ilustrar as operações que ocorrem em uma subestação real para o discente.

Ainda em (FILHO *et al.*, 2011), alguns autores apresentaram um *software* com objetivo semelhante, todavia para um público alvo diferente. O SimuLIHM foi um simulador desenvolvido pelo Laboratório de Interfaces Homem-Máquina que se adéqua ao treinamento de painéis e de supervisórios, com o público alvo focado nos operadores do sistema elétrico. Ademais, já com a preocupação nas percepções do público alvo, foram coletados insumos, que se mostraram deveras positivos, acerca da sua usabilidade e satisfação dos usuários.

Muito alinhado com os pontos defendidos pelos autores em (FILHO *et al.*, 2011) defendido no X SBAI, foi implementado, ao público alvo deste projeto, uma pesquisa de satisfação para coletar insumos sobre o grau de usabilidade e de felicidade dos usuários para

com o STOP3D. Apesar de um método diferente do utilizado pelos criados do SimuLIHM, foi possível adquirir insumos, além de parecidos, melhores alicerçados pelo meio científico, haja vista que para aferir as percepções referentes ao STOP3D foi utilizada a UES - SV, um método científico comprovado que consegue descrever a experiência do usuário em diversos aspectos (O'BRIEN *et al.*, 2018).

Já em (SILVA *et al.*, 2012), pela Universidade Federal de Uberlândia, foi defendida uma dissertação de um trabalho semelhante ao ilustrado neste trabalho, na qual foi apresentada, à estudantes de engenharia elétrica, uma subestação criada de forma virtual e que visa melhorar a visualização desses sistemas para os alunos. Bem como esta tese, a dissertação desenvolveu um ambiente de realidade virtual e que possibilitava os estudantes a conhecerem os equipamentos de uma subestação de forma mais específica, com a recriação de objetos em 3D. Para validar pedagogicamente as premissas defendidas, o autor submeteu, aos discentes, uma pesquisa que visava validar sua contribuição como ferramenta pedagógica.

Talvez o software mais símil ao STOP3D dos apresentados nesta fundamentação, a Virtual Substation, assim nomeada pelo seu criador, é um simulador que tem os mesmos preceitos e desenvolvida pelos mesmos softwares que o do STOP3D, a Unity e o Blender. Ambos recriam, de forma ilustrativa, os objetos de uma subestação real e oferecem, ao usuário, um tutor para guia interno dentro da subestação com o intuito de direcionar a experiência do usuário.

Uma das maiores inovações do modelo defendido por esta tese em relação ao exibido pela dissertação é a implementação do maior grau de liberdade para usuário. Na Virtual Substation, o discente não consegue se movimentar livre na subestação, apenas acompanhar a apresentação do treinamento. Em contrapartida, no STOP3D, o estudante consegue ter um maior grau de liberdade, no tocante à visualização, haja vista que é possível andar livremente na subestação, bem como acessar câmeras e pilotar um drone no qual permite o usuário sobrevoar todo o ambiente criado e visualizar os componentes de onde bem desejar.

É necessário ressaltar que um pouco da inovação em movimentação implementada pelo STOP3D já é usada por alguns outros softwares, como o ATreVEE 3D. Este simulador desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba consegue fornecer um grau semelhante de liberdade ao STOP3D, todavia o mesmo não habilita, ao usuário, a movimentação no eixo Z como o drone permite (CASTRO *et al.*, 2014).

Para medir o grau de importância pedagógica e também a opinião do usuário para com o STOP3D, baseou-se muito na metodologia defendida em (JÚNIOR *et al.*, 2020). No

artigo em questão, os autores utilizaram o software Interactions 500 para impactar a educação dos estudantes de química e conseguiram medir os insumos almejados. Para aferir o quanto a experiência melhorou no desenvolvimento dos discentes para com o assunto de fenômenos químicos, foi utilizada uma metodologia de pré-teste e pós-teste com avaliações semelhantes de um mesmo assunto e foi observado a diferença nas notas dos alunos que participaram e dos que não participaram da experiência.

Para medir o grau de satisfação dos usuários para com a ferramenta, foi utilizada a pesquisa UES (User Engagement Scale) na qual consegue medir, de forma científica, o quanto os estudantes estão focados na aplicação, o apelo estético desta pelo simulador, o grau de novidade que aquela ferramenta apresenta para os usuários e o quanto os usuários ficaram envolvidos e imersos na aplicação (O'BRIEN *et al.*, 2018).

Para os resultados desta tese, foram utilizadas metodologias semelhantes. Para aferir os resultados, foi realizado um método semelhante ao defendido pelo artigo e para aferir o engajamento dos alunos para com a ferramenta, foi utilizada a UES - SV, uma versão simplificada da User Engagement Scale que, além de aferir os mesmos resultados, consegue dimensionar o grau de felicidade do usuário para com a ferramenta (MIRANDA *et al.*, 2021).

2.7 Considerações Finais

A fundamentação teórica e a fundamentação bibliográfica apresentada neste capítulo, contribuiu para a especificação de modelagem e desenvolvimento do STOP 3D, nos quais são apresentados nos capítulos 3 e 4.

Para a modelagem foi utilizado o Blender por conta da sua acessibilidade e facilidade para novos usuários e para o desenvolvimento foi optado por utilizar a Unity por conta da sua acessibilidade gratuita e programação em C#, linguagem familiar ao autor.

O STOP 3D, apesar de ser considerado como uma experiência não imersiva, é possível se utilizar elementos que aproximam da imersão, sendo eles o mouse, o teclado e o fone de ouvido.

Optou-se por um ambiente não imersivo por ausência dos recursos tecnológicos. Porém, o *software* com características mais imersivas torna sua utilização e replicação em larga escala mais crítica para se reproduzir em outras universidades.

3 SUBESTAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL

3.1 Introdução

O presente capítulo deste documento ilustra o descreve a subestação do Pici, ilustra a recriação da subestação em realidade virtual e expõem a metodologia de ensino utilizada para o experimento. Para a primeira, é exposta a subestação 69-13.8 kV e seus respectivos componentes. Já para a segunda, é comentado acerca da construção dos componentes e do grau de imersão que a ferramenta de realidade virtual consegue propor ao usuário e, por fim, o último tópico comenta os objetivos da metodologia de ensino realizada e descreve o seu procedimento.

3.2 Metodologia de ensino

Para a aplicação do software ser efetiva, é necessária ter uma boa metodologia de ensino, com um bom plano de aula, bem como um confiável método de avaliação do conhecimento discente. Para isso, será descrito, neste subitem, o descritivo da metodologia de ensino aplicada na experiência.

O plano de ensino consiste em determinar um objetivo geral para a execução da metodologia ativa baseada em jogos, determinar os objetivos específicos que competem ao desenvolvimento da aplicação e criar o guia de aula, com o intuito de tornar a mesma mais objetiva. Vale salientar que a metodologia foi aplicada em dois semestres diferentes e no primeiro, não foi desenvolvido o guia de aula com o intuito de tornar o aluno o protagonista do próprio ensino e lhe dar a liberdade de explorar a subestação de forma independente. Já para a segunda tentativa, por conta de alguns *feedbacks* que a metodologia estava muito solta, o guia foi desenvolvido com a finalidade de tornar o experimento mais organizado e objetivo durante sua aplicação. Com isso exposto ao leitor, foram desenvolvidos os típicos citados acima e descritos abaixo, respectivamente.

3.2.1 *Objetivo Geral*

- Proporcionar ao aluno uma percepção mais concreta dos elementos de uma subestação por meio do uso do uso de conteúdos e slides de uma subestação real e da subestação virtual.

3.2.2 *Objetivos Específicos*

- Simular uma visita a uma subestação virtual e demonstrar um pouco dessa vivência aos discentes;
- Mostrar como reconhecer os elementos de forma visual: TC, TP e como funciona sua ligação;
- Ofertar um bom grau de liberdade ao aluno para que o mesmo possa ter sua própria experiência dentro da subestação.
- Aplicar avaliações para aferir possível melhoria em desempenho do discente por meio de um pré-teste antes da visita à subestação e um pós-teste após o experimento;
- Apresentar a pesquisa de avaliação do engajamento na qual foi aplicada aos discentes, bem como seus resultados expressivos;

3.2.3 *Planejamento da aula*

1. iniciar mostrando o diagrama unifilar previamente ao adentrar na subestação virtual e comentar sobre os vãos existentes;
2. Ir para a sala de comando e interagir com o computador para que o mesmo mostre, nas câmeras, vão por vão;
3. Fazer um *tour* pela subestação por meio do drone, passando do primeiro vão da subestação até o último;
4. Em cada vão, comentar os elementos presentes, citando sempre como reconhecê-los (exemplo diferenciar visualmente um TP de um TC);
5. Espaço de interação com alunos para tirar eventuais dúvidas e propor questionamento aos mesmos acerca do funcionamento da subestação.

3.3 **Descrição da Subestação do Pici**

A subestação 69-13,8 kV do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará – UFC, construída pela UFC-INFRA com recursos do FINEP foi inaugurada em 2019. Esta subestação foi concebida com dois principais objetivos:

- Suprir a demanda de energia da Universidade Federal do Ceará Campus do Pici;
- Servir de laboratório de pesquisa para os cursos que possuam relação curricular com a subestação.

A subestação em questão e sua respectiva rede de distribuição de energia tem proporcionado muitos insumos para o meio acadêmico e tornou-se uma verdadeira fonte de pesquisa e desenvolvimento, servindo de base para uma série de trabalhos acadêmicos desenvolvidos pelo Grupo de Redes Elétricas Inteligentes (GREI) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (SANTOS, 2015).

Neste trabalho, a subestação foi modelada para um ambiente 3D denominado STOP 3D. Esse programa reproduz a planta da subestação de energia elétrica que supri o Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC) em um ambiente de realidade virtual. Por conseguinte, o objetivo final do processo é que as universidades possuam uma ferramenta com bom grau de liberdade para promover simulações virtuais de vivências que podem ocorrer na rotina do engenheiro eletricitista e, com isso, impactar permanentemente a vida dos alunos de Engenharia Elétrica do Brasil.

Na primeira etapa da metodologia de ensino proposta, foi utilizado o unifilar que exemplifica a subestação está ilustrado na Figura 4 para o ensino de subestação. Conforme pode ser observado na figura, o diagrama possui os seguintes vãos, conforme ilustrado por (SILVEIRA, 2022).

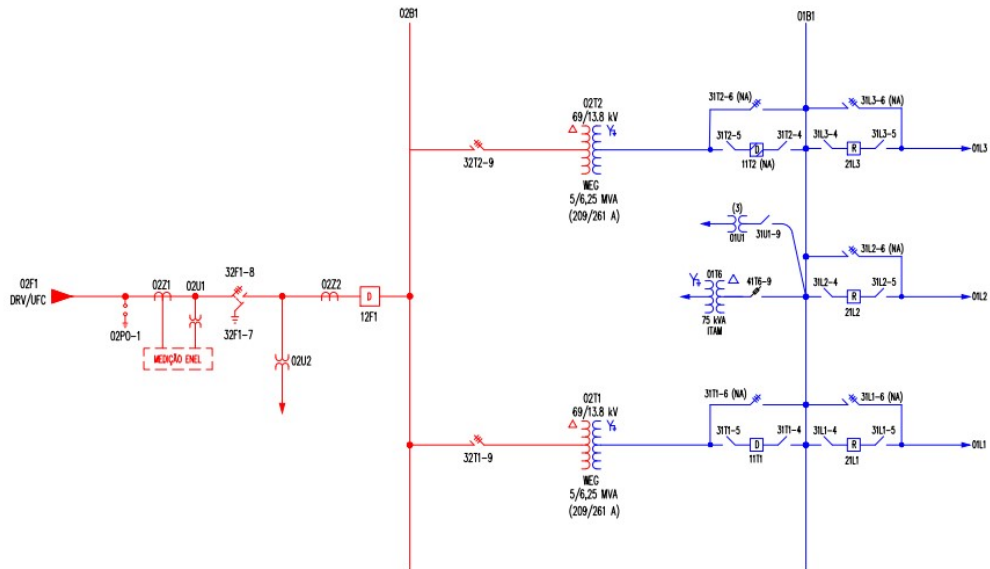
Tabela 1 – Dados dos elementos e equipamentos da subestação do campus do Pici.

| Código operacional | Descrição | Características |
|---------------------------|--|------------------------|
| 12F1 | Disjuntor na entrada da subestação do campus do Pici | Tensão de 69kV |
| 02B1 | Barramento de 69 kV da subestação do campus do Pici | Tensão de 69kV |
| 02T1 | Transformador 69-13,8 kV | Potência 5,00/6,25 MVA |
| 02T2 | Transformador 69-13,8 kV | Potência 5,00/6,25 MVA |
| 11T1 | Disjuntor do lado de média tensão do transformador 02T1 | Tensão de 13,8 kV |
| 11T2 | Disjuntor do lado de média tensão do transformador 02T2 | Tensão de 13,8 kV |
| 01B1 | Barramento de 13,8 kV da subestação do campus do pici | Tensão de 13,8 kV |
| 21L1 | Religador de saída de alimentador do sistema de distribuição do campus do Pici | Tensão de 13,8 kV |
| 21L2 | Religador de saída de alimentador do sistema de distribuição do campus do Pici | Tensão de 13,8 kV |
| 21L3 | Religador de saída de alimentador do sistema de distribuição do campus do Pici | Tensão de 13,8 kV |

Fonte: (SILVEIRA, 2022)

O conhecimento base para interpretação dos códigos, dos elementos presentes no diagrama e do próprio diagrama unifilar, bem como auxílio para a construção da metodologia aplicada em sala de aula foi (FILHO, 2007).

Figura 4 – Diagrama unifilar da subestação Pici



Fonte: Próprio autor.

3.4 Subestação Virtual

Para a recriação do ambiente virtual desejado, foram utilizados os *softwares*, Blender e Unity, ressaltados no capítulo anterior e um diagrama unifilar de base, sendo ele o da subestação do Pici, ilustrado na Figura 4. Com isso, abaixo é comentado um pouco da interface de cada um dos *softwares* com o desenvolvimento da aplicação STOP 3D.

3.4.1 Blender

Como citado na fundamentação teórica, o Blender é um software de computador de *open source* de modelagem multiplataforma, ou seja, o mesmo encontra-se disponível para diversos sistemas operacionais. O motivo para a escolha deste recurso para desenvolver os componentes da subestação está em virtude da sua distribuição gratuita e das suas ferramentas avançadas de simulação, que permitem programar diversas dinâmicas para o corpo gerado, bem como avançadas ferramentas de modelagem e de animações.

Um dos outros motivos era a familiaridade que os orientadores deste projeto possuem com a ferramenta. Este ponto foi crucial para a otimização do projeto, haja vista a enorme

quantidade de componentes presentes em uma subestação e suas respectivas complexidades.

O programa em questão teve como principal função, nesta aplicação, a de recriar, em três dimensões, todos os componentes presentes na subestação, podendo citar alguns deles: condutores, barramentos, transformadores, disjuntores, relés, computadores e seccionadoras.

3.4.2 Unity

Como salientado no capítulo 2 deste documento, a Unity é um *software* que tem o foco em desenvolver jogos, também comumente chamado de motor gráfico. Para esta aplicação, foi utilizado deste programa para recriar o ambiente da subestação de forma virtual e ofertando um bom grau de liberdade para o usuário visualizar os componentes da subestação. Para facilitar a visualização da subestação, foi optado por separar o simulador em dois ambientes, o do pátio da subestação e o do interior da casa de comando.

Figura 5 – Interface Unity para aplicação



Fonte: Próprio autor.

No primeiro, estão localizados alguns elementos que possuem a função de distribuir a energia elétrica para a Universidade Federal do Ceará, bem como de proteger o próprio sistema, sendo eles os transformadores, os condutores de cobre nu, os disjuntores e as seccionadoras. As figuras abaixo ilustram o espaço em questão do pátio da subestação virtual.

Na Figura 6, é apresentado, da esquerda para a direita, os componentes de alta tensão e de transformação, que por meio dos condutores de cobre se interligam com os componentes de média tensão e, na extrema direita, tem-se a casa de comando.

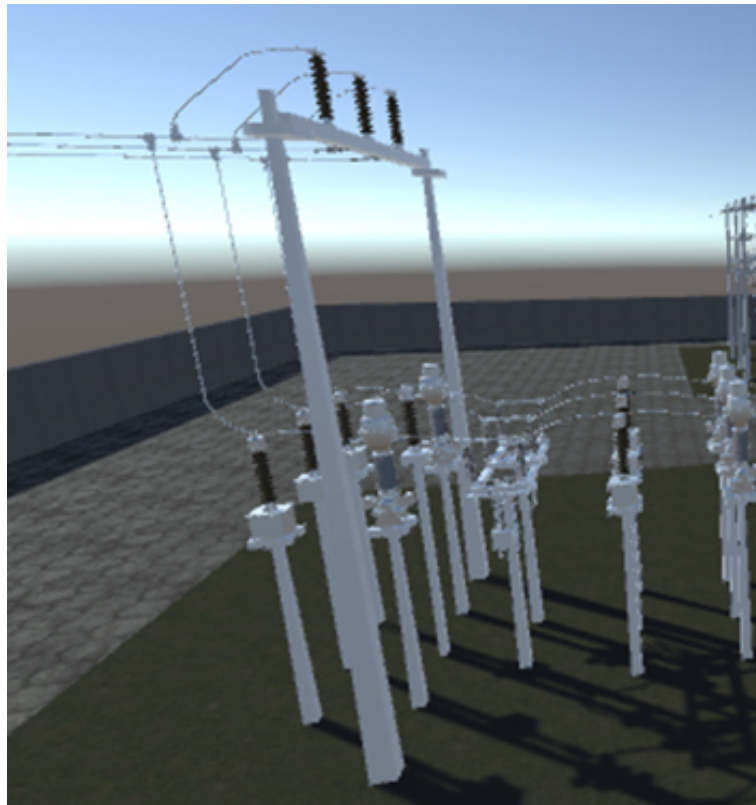
Figura 6 – Pátio da subestação



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 7, é possível visualizar a entrada de linha da subestação, na qual é possível visualizar os componentes de medição e proteção, tais como transformador de corrente, transformador de potencial e disjuntores.

Figura 7 – Entrada de linha da subestação virtual.



Fonte: Próprio autor.

Para ilustrar melhor um dos componentes da Figura 7, tem-se o transformador de corrente desenvolvido para a aplicação virtual na Figura 8. A função deste componente é de reduzir a corrente medida na alta tensão a um valor menor, sendo possível, assim, medir e monitorar a corrente elétrica real que flui em uma linha de transmissão alternada na subestação.

Figura 8 – Transformador de corrente virtual.



Fonte: Próprio autor.

Para a Figura 9, é possível visualizar o barramento de alta tensão da subestação. Nesta região da subestação, é possível visualizar alguns componentes de monitoramento, um dentre eles o próprio transformador de corrente da Figura 8.

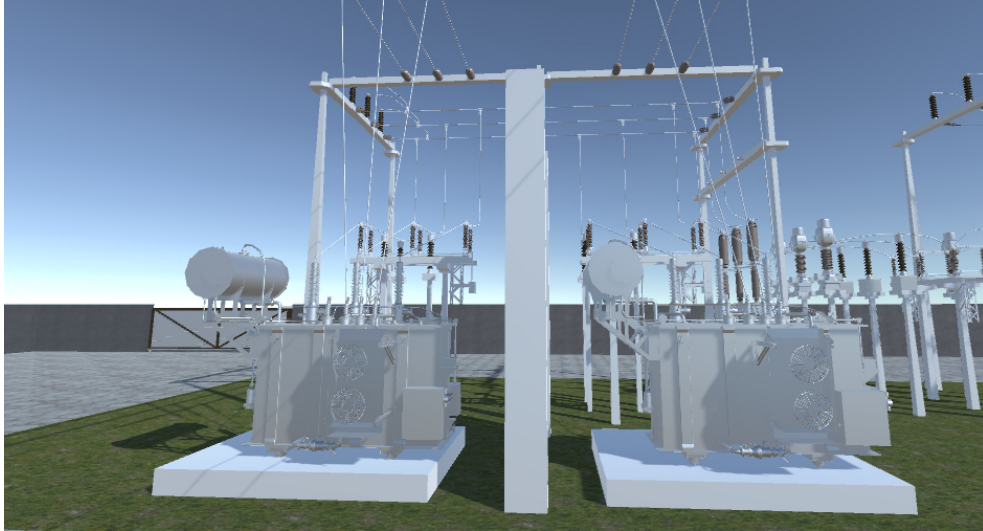
Figura 9 – Barramento de alta tensão.



Fonte: Próprio autor.

Para a Figura 10, é possível visualizar o vão de transformação com os dois transformadores 69-13,8 kV, sendo um deles o reserva.

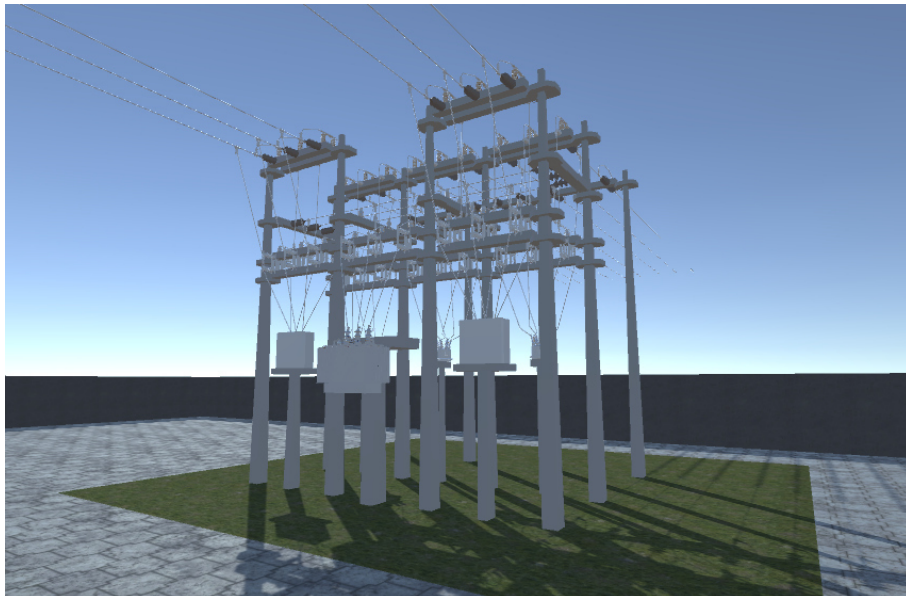
Figura 10 – Vão de transformação.



Fonte: Próprio autor.

Para a Figura 11, é possível visualizar o barramento de média tensão, juntamente com os vãos de saída em média tensão. Importante salientar a existência do transformador de serviços auxiliares, no centro da figura, responsável por alimentar a energia para funcionamento da subestação. Ao seu lado, encontra-se os disjuntores de média com o objetivo de proteção do sistema.

Figura 11 – Vão de transformação.



Fonte: Próprio autor.

Para a Figura 12, tem-se a casa de comando, local no qual é realizada a fiscalização dos insumos coletados pelos equipamentos presentes na subestação. Nesta região, é possível encontrar componentes como relés, banco de baterias e notebooks.

Figura 12 – Casa de comando.



Fonte: Próprio autor.

Para a Figura 13, é possível visualizar a interação que se tem ao interagir com o notebook, que está conectado ao relé, para adquirir as informações dos elementos presentes nos vãos da subestação.

Figura 13 – Interação notebook com relé.



Fonte: Próprio autor.

Utilizando o mesmo recurso de interação com notebooks, na casa de comando ainda é possível acessar um conjunto de câmeras presentes na subestação com a finalidade de ilustrar, ao usuário, a vivência de um engenheiro electricista responsável pela observação e manutenção dos equipamentos.

4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE ENSINO E TESTE DE ENGAJAMENTO

4.1 Introdução

Neste Capítulo são apresentadas a Metodologia de Avaliação de Ensino e a metodologia para Teste de Engajamento aplicadas na Disciplina de Geração Transmissão e Distribuição de Energia em 2021.2 e na Disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos em 2022.1. Para os resultados referentes aos testes, eles são apresentados no capítulo 5 deste documento.

4.2 Metodologia de Avaliação de Ensino

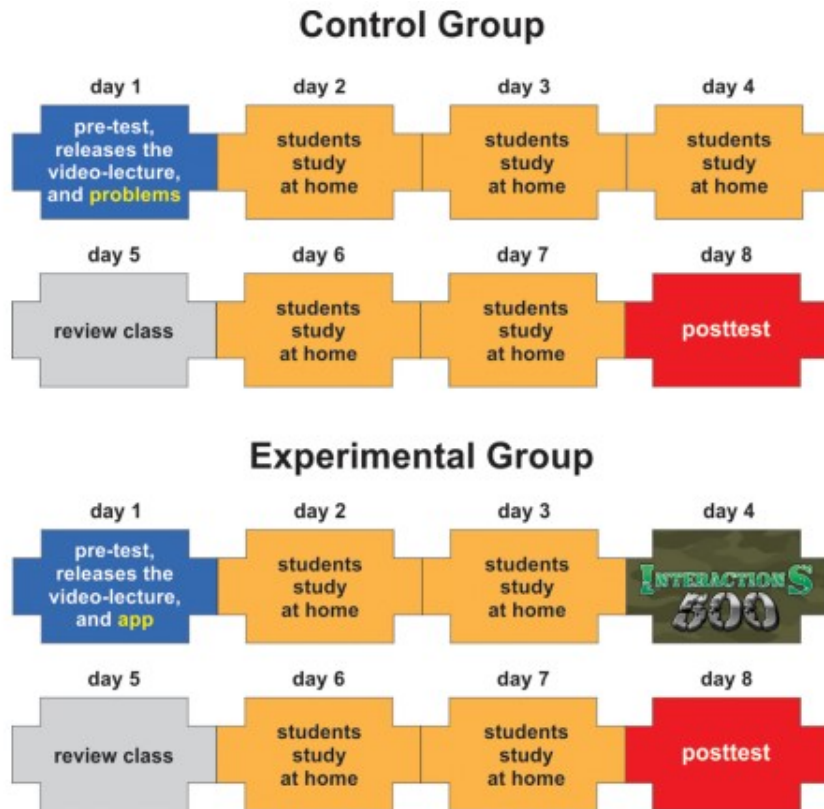
Para a metodologia de avaliação, foi utilizada uma que se baseia em (JÚNIOR *et al.*, 2020), conforme ilustrado na Figura 14. A ideologia que guia esse sistema de avaliação defende que haja duas turmas, nas quais devem ser proporcionadas a elas experiências semelhantes de aprendizado, com exceção do grupo experimental, na qual será realizada uma aula com o software a ser testado. Com isso, para avaliar o desempenho da turma do grupo experimental, é realizado um pré-teste antes que haja a divergência da turma e um pós-teste para aferir se houve uma melhora no aprendizado da turma experimental, conforme ilustrado na Figura 14.

Para a divisão da turma, a metodologia defende que haja uma separação de alunos de forma que, em termos de conhecimento médio, ambas estejam equivalentes. Essa etapa é muito importante para impedir que seja enviesado o experimento realizado com os discentes. Para o experimento na turma de química, foi utilizada a nota de avaliações realizadas, aos alunos, previamente à aplicação do experimento.

No que se refere aos testes de conhecimento realizados, esses são nomeados por pré-teste e pós-teste. Para o primeiro, é requisitada uma avaliação com questões distintas de múltipla escolha que contemplem o escopo do conteúdo abordado em sala de aula. Já para a segunda avaliação, a mesma deve conter a mesma quantidade de questões da primeira, contemplando o mesmo assunto, todavia com questões diferentes, apesar de semelhantes.

O intuito dessa metodologia é, de fato, ofertar experiências diferentes para grupos de pessoas diferentes e aferir se a metodologia de ensino ativa baseada em jogos aplicada ao grupo experimental gera resultados expressivos no desenvolvimento dos discentes, para com o conteúdo abordado, ao se comparar com o modelo de educação tradicional realizado no grupo controle deste experimento.

Figura 14 – Metodologia base da Interactions 500.



Fonte: (JÚNIOR *et al.*, 2020)

Como citado na introdução, para os experimentos do STOP 3D, foi utilizado como base esta metodologia, porém a mesma foi realizada de forma um pouco diferente. Como a turma das disciplinas de engenharia elétrica não é muito grande, não foi possível dividir os discentes em grupos para trabalhar com grupo controle e grupo experimental.

Portanto, antes de realizar a primeira avaliação, foi realizada uma revisão do conteúdo abordado previamente em sala de aula e, na aula seguinte, foi realizado o pré-teste. Este teste é padronizado em cinco questões distintas e semelhantes em conteúdo. A primeira delas sendo foco no diagrama unifilar e as demais sendo focada na identificação visual dos elementos da subestação, como, por exemplo, os transformadores de corrente ilustrados anteriormente no capítulo anterior.

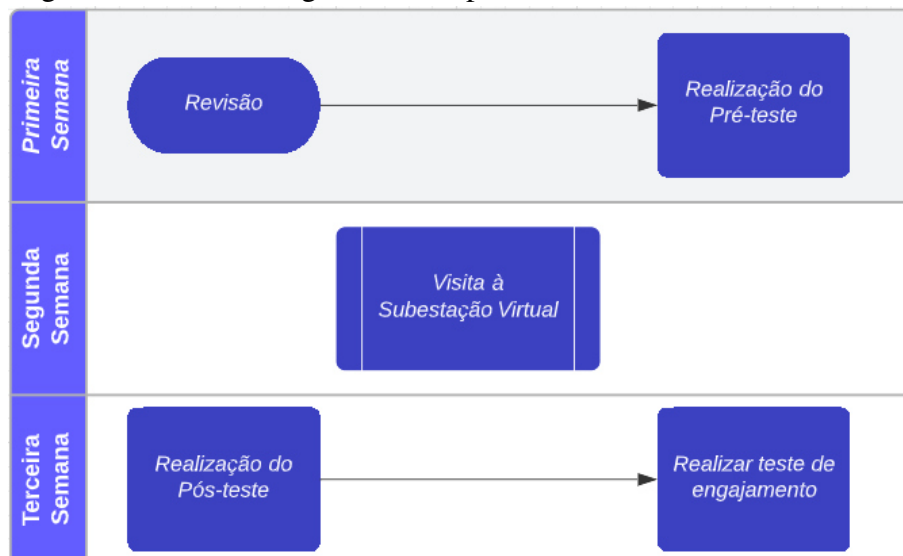
Após os resultados contabilizados e com o tempo decorrido de uma semana da primeira avaliação, foi realizada a visita à subestação virtual pelo docente, juntamente com os alunos. Como não foi possível exportar a aplicação para ser realizada de forma individual pelo celular de cada aluno, o professor da disciplina realizou uma visita como usuário e exibiu a mesma em um projetor para que todos os alunos conseguissem visualizar os elementos.

É importante sobrelevar que a visita foi realizada de forma diferente em ambos os

semestres. Para o primeiro, 2021.2, não foi elaborado um plano de aula para guiar os alunos muito com a intenção de eles requisitarem o que gostariam de ver, tornando o aluno como total protagonista de seu aprendizado. Já para o segundo, 2022.1, o professor foi guiando os alunos ao visitar a subestação, pois uma das melhorias pontuadas após primeiro experimento é que eles não gostaram da liberdade plena de exploração e prefeririam que o professor orientasse na visita e chamasse os alunos para discussão e foi exatamente dessa forma que foi realizada o segundo experimento.

Na aula seguinte após a visita, com o tempo decorrido de uma semana, foi realizado o pós-teste aos discentes com o mesmo padrão adotado no pré-teste, todavia com questões diferentes para não enviesar o resultado. O fluxograma para a metodologia utilizada no estudo de caso encontra-se na Figura 15.

Figura 15 – Metodologia utilizada para o estudo de caso.



Fonte: Próprio autor.

4.3 Teste de engajamento

Por fim, vale salientar que além de medir o possível aumento de rendimento acadêmico, é interessante aferir o engajamento dos discentes para com a metodologia e com a ferramenta utilizada durante o experimento. Vale salientar que, para o primeiro semestre do experimento, foi utilizada uma pesquisa baseada na User Engagement Scale – Short Version (UES – SV) e para o segundo semestre foi utilizada a própria UES – SV. A versão curta da pesquisa foi escolhida pois a versão completa possui muitas perguntas, um total de 31, e, com

isso, a adesão da turma poderia ser reduzida.

A UES é uma escala de atitude autor referida amplamente utilizada em pesquisas de usuários para medir seu engajamento com sistemas interativos, como jogos e aplicativos digitais e a versão curta dela (UES – SV) utiliza quatro indicadores e devem ser respondidas na escala Likert. Além disso, foi optado por realizar três perguntas dissertativas para medir o grau de satisfação dos alunos para com a metodologia ativa aplicada. Os indicadores da (UES – SV) estão descritos abaixo:

- FA – Atenção focada;
- AE – Apelo estético;
- PU – Usabilidade Percebida;
- RW – Indicador de felicidade do Usuário.

As pesquisas foram realizadas na ferramenta Google Forms após a aplicação da metodologia ativa e a adesão, por parte dos discentes, foi deveras satisfatória. O formulário em questão encontra-se no apêndice A.

5 RESULTADOS

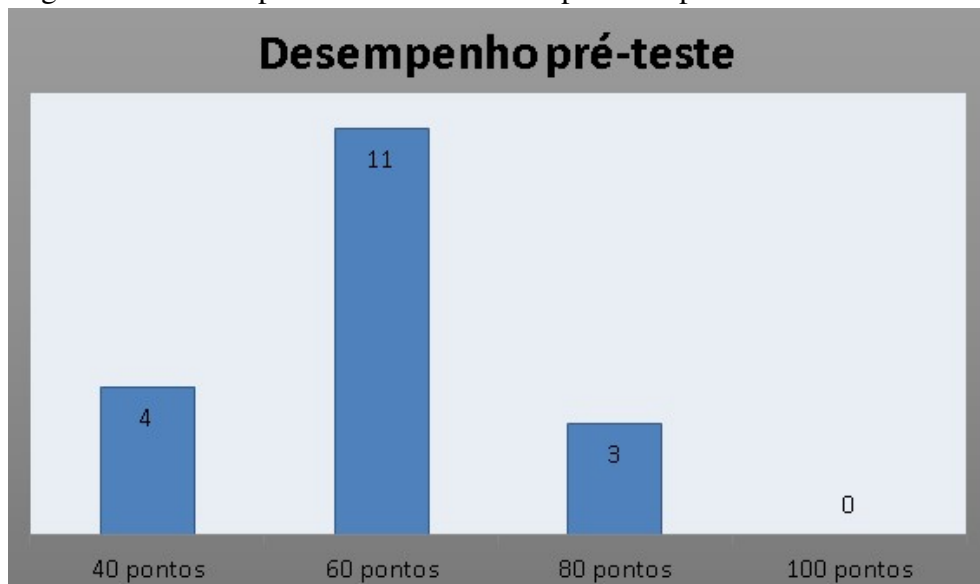
Para ilustrar esse capítulo, têm-se dois resultados muito importantes para comprovar a aplicação da metodologia de ensino idealizada. O primeiro deles se dá pela melhora das notas entre os testes. Já o segundo sobreleva a importância de uma metodologia ativa baseada em jogos que foi aplicada para o engajamento do discente para com as aulas ministradas. É necessário sobrelevar que foram coletados resultados de dois semestres, o de 2021.2 e o de 2022.1.

5.1 Semestre 2021.2 - Disciplina de Geração, Transmissão e Distribuição

5.1.1 Avaliação de desempenho

Para o primeiro semestre, como citado na metodologia, foi aplicado, a uma turma de dezoito alunos, um pré-teste antes da aula experimental e um pós-teste após a aula experimental. O intuito era de ver se o desempenho dos discentes melhorava para com testes de dificuldade semelhante. Para o primeiro teste, como é possível ver na Figura 16, apenas três alunos dos dezoito obtiveram notas acima da média da disciplina, valor de sete, e os mesmos três obtiveram notas acima da média da turma, a qual foi de 58,88.

Figura 16 – Desempenho dos discentes no primeiro pré-teste 2021.2.



Fonte: Próprio autor.

Para os resultados do pós-teste, é possível visualizar na Figura 17 a melhoria relevante de desempenho dos discentes. Para essa segunda avaliação, metade dos alunos conseguiram nota superior à média da disciplina e à média da turma, com, inclusive, alguns atingindo a nota

máxima da avaliação, fato o qual não aconteceu no pré-teste.

Figura 17 – Desempenho dos discentes no primeiro pós-teste 2021.2.



Fonte: Próprio autor.

Ademais, é necessário destacar que, ao se comparar o desempenho individual de cada aluno entre os testes, nenhum aluno piorou de rendimento, haja vista que 44,44% dos alunos mantiveram o mesmo desempenho e 55,56% dos alunos melhoraram seu desempenho. Tais resultados são deveras satisfatórios para a primeira aplicação, pois, como será relatado abaixo, os alunos propuseram alguns pontos de melhoria para a execução do plano de aula.

5.1.2 Pesquisa de engajamento

Agora que foram citados os resultados quantitativos acerca da melhoria de desempenho dos discentes no primeiro semestre da experiência, agora será discorrido acerca da avaliação dos alunos para com a ferramenta utilizada, bem como para com a metodologia ativa utilizada.

Para a primeira aplicação, como citado no capítulo de metodologia, foi aplicada uma pesquisa baseada na UES – Short Version e os resultados foram bastantes satisfatórios. Tal fato é decorrente de uma grande adesão dos alunos, 88%88, de que o objetivo inicial foi alcançado com sucesso e de que foi possível adquirir muitos insumos positivos para a aplicação da mesma metodologia no semestre seguinte.

Dentre os pontos levantados na pesquisa, os três que foram ditos como mais importantes medem, respectivamente, a usabilidade da ferramenta, a atenção focada do usuário e o indicador de felicidade do usuário. Além disso, é importante acentuar o fato de, em todas as indagações da pesquisa, tínhamos apenas um detrator, como pode ser visto nas figuras abaixo.

Figura 18 – Usabilidade da ferramenta 2021.2.

Você ficou mais estimulado a estudar pela nova metodologia.

16 respostas



Fonte: Próprio autor.

Figura 19 – Atenção focada 2021.2.

Você ficou mais estimulado a estudar pela nova metodologia.

16 respostas



Fonte: Próprio autor.

Figura 20 – Felicidade do usuário 2021.2.

Avalie a partir da sua experiência com a nova metodologia de ensino, em que introduz o Laboratório de Subestação baseado em realidade virtual no ensino da Engenharia Elétrica em comparação ao modelo tradicional de ensino e marque sua percepção em conformidade com a escala abaixo.

16 respostas



Fonte: Próprio autor.

Já para os pontos de melhoria para a próxima aplicação, os mais ressaltados foram a ausência de um plano de aula sólido que facilitasse ao aluno se guiar de forma mais objetiva na aula e um ponto sobre a movimentação do Drone que ainda não estava otimizada a programação do mesmo ficar estático no ar. Com os insumos acima, a equipe reformulou o plano de ação

para o próximo semestre e, além de estruturar um plano de aula, foi melhorado o código de movimentação do Drone.

5.2 Semestre 2022.1 - Disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência

5.2.1 Avaliação de desempenho

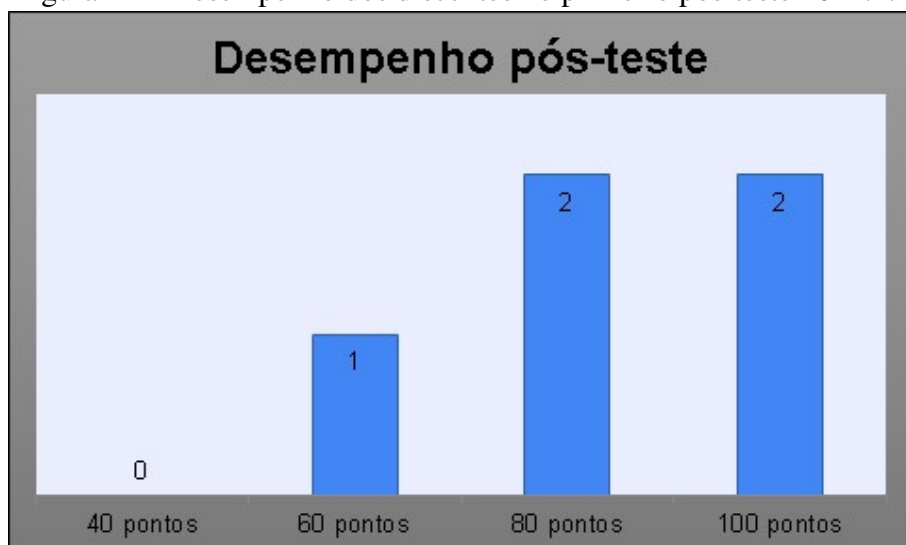
Para os resultados provenientes das avaliações de desempenho para o segundo semestre de testes, na disciplina de Proteção dos Sistemas Elétricos de Potência, temos as Figuras 21 e 22 que exibem os resultados de ambas as avaliações.

Figura 21 – Desempenho dos discentes no primeiro pré-teste 2022.1.



Fonte: Próprio autor.

Figura 22 – Desempenho dos discentes no primeiro pós-teste 2022.1.



Fonte: Próprio autor.

Ao analisar os resultados provenientes da Figura 21, foi possível aferir que a média da turma ficou de aproximadamente 64 pontos e três dos cinco alunos não conseguiram superar a média de disciplina, de 70 pontos.

Já para a segunda avaliação, foi possível aferir uma melhoria na média das notas em 20, totalizando 84 pontos e apenas uma pessoa ficou com nota abaixo da média da disciplina. Vale salientar, também, que apesar de as notas da terem melhorado muito, um dos alunos se manteve com a média constante, ilustrando que, talvez, a metodologia não conseguiu se mostrar eficiente para toda a turma.

5.2.2 Pesquisa de engajamento

Durante a aplicação da UES - SV, foram constatados resultados que são positivos para os 4 níveis de engajamento que são medidos na pesquisa. Dentre os pontos relevantes, foi possível adquirir resultados bem positivos para com a a usabilidade da ferramenta, a atenção focada do usuário e o indicador de felicidade do usuário, respectivamente nas figuras abaixo.

As críticas foram bem construtivas e, de ponto de melhoria levantado pelos discentes, era mais para que a pesquisa continuasse e que fosse possível realizar simulações de eventos que não é possível ver na subestação real, como presencial uma falta em algum dos barramentos ou em um dos transformadores.

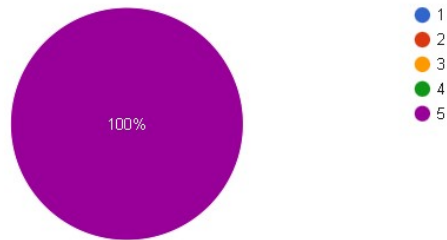
Vale sobrelevar apenas uma das críticas que era no tocante ao fato de essa ferramenta ser muito útil para conhecer os componentes e entender como funciona uma subestação, todavia não substitui uma visita real. Nesse tocante, o discente comentou que ela é uma ferramenta excelente como complemento.

Importante salientar que, para as avaliações, foram contadas apenas 5 alunos pois foram os que conseguiram responder ambos os testes. Para a pesquisa de engajamento, seis alunos responderam pois todos eles participaram da aula de experiência, todavia um estava doente para aplicação da primeira avaliação e, por isso, seu resultado do pós-teste foi desconsiderado.

Figura 23 – Usabilidade da ferramenta 2021.2.

Em uma escala de 1 a 5, na qual 5 representa nota máxima, como você avalia a criação do software no que se refere à importância para o aprendizado do aluno ao ser comparado com o método tradicional de ensino?

6 respostas

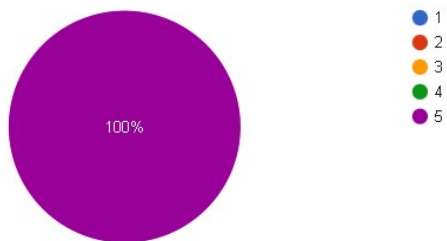


Fonte: Próprio autor.

Figura 24 – Atenção focada 2021.2.

Em uma escala de 1 a 5, na qual 5 representa nota máxima, como você avalia a importância do conteúdo apresentado com o uso do Laboratório de Subestação Virtual para o aprendizado do aluno de engenharia elétrica quando comparado com o método tradicional de ensino?

6 respostas

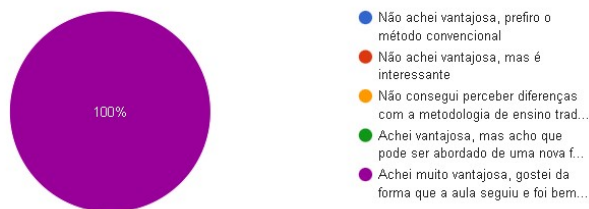


Fonte: Próprio autor.

Figura 25 – Felicidade do usuário 2021.2.

Avalie a partir da sua experiência com a nova metodologia de ensino, em que introduz o Laboratório de Subestação baseado em realidade virtual no ensino da Engenharia Elétrica em comparação ao modelo tradicional de ensino e marque sua percepção em conformidade com a escala abaixo.

6 respostas



Fonte: Próprio autor.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Alguns dos problemas para o desenvolvimento, os quais são necessários o destaque, são referentes a suporte para o desenvolvimento. Infelizmente, o laboratório não disponibiliza uma máquina potente suficiente para desenvolver a aplicação e, portanto, foi necessário utilizar um computador pessoal. Nesse tocante, é mister a existência de parcerias e de investimentos nessa linha de pesquisa, haja vista a necessidade de tecnologia de ponta para o desenvolvimento da aplicação, bem como há facilidade em replicar os resultados para diversos âmbitos, sejam eles para treinamento de profissionais ou formação acadêmica.

Diante do exposto, foi possível aferir que os movimentos de vanguarda, com o intuito de transformar o estudante no protagonista, são viáveis, se bem aplicados. Metodologias ativas e que reinventam a forma de ensino e aprendizagem, além de propiciar um melhor aprendizado, motivam os discentes a estudarem conteúdos mais massantes e mais complexos, como ilustrado nos resultados expostos.

Vale salientar, ainda, a importância dos recursos áudio-visuais, haja vista que, pela avaliação dos estudantes, o software, apesar de, até então, em uma versão preliminar, foi muito bem avaliado e importante para a construção do conhecimento acerca dos componentes existentes em uma subestação, principalmente se comparado ao método tradicional de ensino, via slides.

Por fim, é interessante sobrelevar que a implementação do software STOP3D, desenvolvido pelo nosso time do laboratório GREI, possui muito potencial para simular os mais diversos cenários e já é pensado, para trabalhos futuros, a reprodução de um curto na barra de média tensão e como os elementos da subestação devem se comportar em meio ao cenário em questão.

Para trabalhos futuros, tem-se algumas sugestões:

- Desenvolver simulação de curto no barramento de alta tensão;
- Desenvolver simulação de curto no barramento de baixa tensão;
- Desenvolver simulação de curto no vão de transformação
- Tornar a interface do usuário mais gamificada, criando progressão por usuário e implementando o diagrama unifilar dentro do software;

REFERÊNCIAS

- ALVES, L.; BIANCHIN, M. A. O jogo como recurso de aprendizagem. **Revista Psicopedagogia**, Associação Brasileira de Psicopedagogia, v. 27, n. 83, p. 282–287, 2010.
- AZEVÊDO, L. d. S. **Cultura maker: uma nova possibilidade no processo de ensino e aprendizagem**. Dissertação (Mestrado) — Brasil, 2019.
- BARBOSA, E. F.; MOURA, D. d. Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. In: **Anais International Conference on Engineering and Technology Education, Cairo, Egito**. [S.l.: s.n.], 2014. v. 13, p. 110–116.
- BARDINI, V. S. dos S.; SPALDING, M. Aplicação de metodologias ativas de ensino-aprendizagem: experiência na área de engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 36, n. 1, 2017.
- BARROS, R. T. d. C. *et al.* Jogos 3d em tempo real para iphone/ipad baseados em sensores. 2011.
- BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. [S.l.]: Penso Editora, 2015.
- BLIKSTEIN, P. **O mito do mau aluno e porque o Brasil pode ser o líder mundial de uma revolução educacional**. [S.l.]: Stanford University, 2012.
- BOLLELA, V. R.; SENGER, M. H.; TOURINHO, F. S. V.; AMARAL, E. Aprendizagem baseada em equipes: da teoria à prática. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 47, n. 3, p. 293–300, 2014.
- BOTEGA, L. C.; CRUVINEL, P. E. Realidade virtual: histórico, conceitos e dispositivos. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, In: COSTA, RM; RIBEIRO, MWS (Org.). Aplicações de realidade virtual e . . . , 2009.
- CASTRO, R.; SANTOS, F. G.; FONSECA, I.; TAVARES, T. Ambiente computacional baseado em realidade virtual e interação natural para treinamento no setor elétrico. In: **Conferência Internacional sobre Informática na Educação (TISE)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 836–841.
- COMMISSION, I. E. **IEC TR 61850-1: Communication networks and systems in substations - Part 1: Introduction and overview**. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/20071>: Webstore, 2003.
- FILHO, F. T.; COSTA, R. C.; VIEIRA, M. de F. Ambiente para o treinamento de operadores em painéis e supervisão apoiado por um módulo tutor. **Anais Do X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, SBAI 2011**, 2011.
- FILHO, J. M. **Instalações elétricas industriais**. [S.l.]: Livros Tecnicos e Cientificos, 2007.
- GERS, J. M.; HOLMES, E. J. **Protection of electricity distribution networks**. [S.l.]: IET, 2004. v. 47.
- GOLDBERG, D. E. The missing basics and other philosophical reflections for the transformation of engineering education. In: **Holistic Engineering Education**. [S.l.]: Springer, 2010. p. 145–158.

- GRILO, L.; MONICE, S.; SANTOS, E. T.; MELHADO, S. Possibilidades de aplicação e limitações da realidade virtual na arquitetura e na construção civil. **Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização no Trabalho no Ambiente Construído**, v. 2, 2001.
- JÚNIOR, J. N. da S.; OLIVEIRA, J. M. de S.; WINUM, J.-Y.; JUNIOR, A. J. M. L.; ALEXANDRE, F. S. O.; NASCIMENTO, D. M. do; SOUSA, U. Silva de; PIMENTA, A. T. Á.; MONTEIRO, A. J. Interactions 500: design, implementation, and evaluation of a hybrid board game for aiding students in the review of intermolecular forces during the covid-19 pandemic. **Journal of Chemical Education**, ACS Publications, v. 97, n. 11, p. 4049–4054, 2020.
- LESTON, J. Virtual reality: the it perspective. **ITNOW**, Oxford University Press, v. 38, n. 3, p. 12–13, 1996.
- LIMA, T. d. **Uma análise de soft skills na visão dos profissionais da engenharia de software**. [S.l.]: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2018.
- MEDEIROS, M. Â. C. de; FALCÃO, G. C.; MACIEL, G. da S.; DELFINO, H. M.; PACHECO, É. B.; SOUZA, S. S. F. de. Realidade virtual aplicada ao ensino de química virtual reality applied to chemistry teaching. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 61770–61785, 2021.
- MILLER, R.; SHAPIRO, H.; HILDING-HAMANN, K. E. School's over: Learning spaces in europe in 2020: An imagining exercise on the future of learning. **JRC Scientific and Technical Reports**, 2008.
- MIRANDA, D.; LI, C.; DARIN, T. Ues-br: Translation and cross-cultural adaptation of the user engagement scale for brazilian portuguese. **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, ACM New York, NY, USA, v. 5, n. CHI PLAY, p. 1–22, 2021.
- MOREIRA, M. E. S.; CRUZ, I. L. da S.; SALES, M. E. N.; MOREIRA, N. I. T.; FREIRE, H. de C.; MARTINS, G. A.; AVELINO, G. H. F.; JÚNIOR, S. de A.; POPOLIM, R. S. Metodologias e tecnologias para educação em tempos de pandemia covid-19. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 3, p. 6281–6290, 2020.
- NUNES, F.; COSTA, R.; MACHADO, L. S.; MORAES, R. M. Desenvolvendo aplicações de rva para saúde: imersão, realismo e motivação. **MW de S. Ribeiro, ER Zorzal, EDS**, p. 82–95, 2011.
- O'BRIEN, H. L.; CAIRNS, P.; HALL, M. A practical approach to measuring user engagement with the refined user engagement scale (ues) and new ues short form. **International Journal of Human-Computer Studies**, Elsevier, v. 112, p. 28–39, 2018.
- PFAHL, D.; KLEMM, M.; RUHE, G. Using system dynamics simulation models for software project management education and training. In: **Proceedings of the 3rd process simulation modeling workshop (prosim 2000)**. [S.l.: s.n.], 2000.
- PRODIST, A. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional, modulo 8-qualidade da energia elétrica**. [S.l.]: Revisão, 2018.
- ROBERTSON, G. G.; CARD, S. K.; MACKINLAY, J. D. Three views of virtual reality: nonimmersive virtual reality. **Computer**, IEEE, v. 26, n. 2, p. 81, 1993.
- RODRIGUES, G. P.; PORTO, C. de M. *et al.* Realidade virtual: conceitos, evolução, dispositivos e aplicações. **Educação**, v. 1, n. 3, p. 97–109, 2013.

SAMPAIO, R. F. Sistema de diagnóstico de faltas para subestações baseado em redes de petri coloridas. **Universidade Federal do Ceará–UFC**, 2002.

SANTOS, L. A. d. Integração de um sistema de recomposição automático via opc para automação da rede elétrica de distribuição em média tensão do campus do pici da universidade federal do ceará. 2015.

SILVA, C. H. d. C. Desenvolvimento de um laboratório virtual para capacitação tecnológica a distância em proteção de sistemas elétricos. 2011.

SILVA, R. C. *et al.* Virtual substation um sistema de realidade virtual para treinamento de operadores de subestações elétricas. Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

SILVEIRA, S. d. Estudo de proteção da rede elétrica do campus do pici da universidade federal do ceará com integração de uma usina fotovoltaica. 2022.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. [S.l.]: Editora SBC Porto Alegre, 2006.

VENTURINI, S. F.; SILVA, T. O. Uso e benefícios das metodologias ativas em uma disciplina de engenharia de produção. **Cippus**, v. 6, n. 1, p. 59–74, 2018.

APÊNDICE A – PESQUISA DE SATISFAÇÃO SEMESTRE 2021.2

Abaixo encontra-se a pesquisa de satisfação implementada via Google Forms para o semestre 2021.2 na disciplina de Geração, Transmissão e Distribuição do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.

Pesquisa para Avaliação do Laboratório de Subestação baseado em Realidade Virtual aplicado ao Ensino da Engenharia Elétrica

Olá, Somos da equipe de desenvolvimento do Laboratório de Subestação baseado em realidade virtual para aplicação no ensino da engenharia. Esse laboratório é baseado na Subestação do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará-UFC. Estamos realizando uma pesquisa para avaliar a aplicação da Subestação Virtual no ensino da engenharia elétrica. Sua participação é muito importante para nós. Quais quer dúvida enviem um e-mail para rfurtado@dee.ufc.br e djaguaribe@alu.ufc.br

*Obrigatório

1. Qual disciplina você está cursando? *

2. Foi mais estimulante o aprendizado com o uso do Laboratório de Subestação baseada em realidade virtual do que com a aula em powerpoint com subestação explicada por meio de fotos.

Marcar apenas uma oval.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

3. O tempo passou muito rápido na aula no Laboratório de Subestação baseada em realidade virtual.

Marcar apenas uma oval.

- 1
 2
 3
 4
 5

4. A nova metodologia utilizando o Laboratório de Subestação baseada em realidade virtual me deixou mais concentrado e imerso no aprendizado.

Marcar apenas uma oval.

- 1
 2
 3
 4
 5

5. A nova metodologia te deixou frustrado.

Marcar apenas uma oval.

- 1
 2
 3
 4
 5

6. A aplicação da nova metodologia de ensino com o laboratório de subestação baseado em realidade virtual mostrou-se complexa e confusa.

Marcar apenas uma oval.

- 1
 2
 3
 4
 5

7. Utilizar a nova metodologia foi exaustivo.

Marcar apenas uma oval.

- 1
 2
 3
 4
 5

8. Você ficou mais estimulado a estudar pela nova metodologia.

Marcar apenas uma oval.

- 1
 2
 3
 4
 5

9. O laboratório de subestação baseado em realidade virtual é esteticamente atraente, em comparação com a metodologia de ensino tradicional.

Marcar apenas uma oval.

 1 2 3 4 5

10. A nova metodologia instigou em você outros sentimentos que a metodologia de ensino convencional não conseguiu.

Marcar apenas uma oval.

 1 2 3 4 5

11. O uso da nova metodologia valeu a pena.

Marcar apenas uma oval.

 1 2 3 4 5

12. Minha experiência foi recompensadora.

Marcar apenas uma oval.

1

2

3

4

5

13. Me senti mais interessado na matéria com o uso da nova metodologia.

Marcar apenas uma oval.

1

2

3

4

5

14. Quais os principais pontos positivos do uso do Laboratório de Subestação baseado em Realidade Virtual aplicado ao Ensino da Engenharia Elétrica? *

15. Quais as principais dificuldades ou pontos você destaca para melhoria do Laboratório de Subestação baseado em realidade virtual? *

16. Em uma escala de 1 a 5, na qual 5 representa nota máxima, como você avalia a criação do software no que se refere à importância para o aprendizado do aluno ao ser comparado com o método tradicional de ensino? *

Marcar apenas uma oval.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

17. Em uma escala de 1 a 5, na qual 5 representa nota máxima, como você avalia a importância do conteúdo apresentado com o uso do Laboratório de Subestação Virtual para o aprendizado do aluno de engenharia elétrica quando comparado com o método tradicional de ensino?

Marcar apenas uma oval.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

18. Avalie a partir da sua experiência com a nova metodologia de ensino, em que introduz o Laboratório de Subestação baseado em realidade virtual no ensino da Engenharia Elétrica em comparação ao modelo tradicional de ensino e marque sua percepção em conformidade com a escala abaixo.

Marcar apenas uma oval.

- Não achei vantajosa, prefiro o método convencional
- Não achei vantajosa, mas é interessante
- Não consegui perceber diferenças com a metodologia de ensino tradicional
- Achei vantajosa, mas acho que pode ser abordado de uma nova forma
- Achei muito vantajosa, gostei da forma que a aula seguiu e foi bem mais proveitoso que a aula tradicional por slide

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários