

Ambiente virtual e colaborativo para a capacitação de eletricitistas de rede de distribuição

Eduardo H. Tanaka

*Departamento de Computação Visual
Instituto de Pesquisas Eldorado
Campinas, SP, Brazil
eduardo.tanaka@eldorado.org.br*

Lucimara de Almeida

*Departamento de Educação
Instituto de Pesquisas Eldorado
Campinas, SP, Brazil
lucimara.almeida@eldorado.org.br*

Guilherme S. F. Gouveia

*Departamento de Computação Visual
Instituto de Pesquisas Eldorado
Campinas, SP, Brazil
guilherme.gouveia@eldorado.org.br*

Tiago Z. Paula

*Departamento de Computação Visual
Instituto de Pesquisas Eldorado
Campinas, SP, Brazil
tiago.paula@eldorado.org.br*

Leonardo R. Domingues

*Departamento de Computação Visual
Instituto de Pesquisas Eldorado
Campinas, SP, Brazil
leonardo.domingues@eldorado.org.br*

Alex H. F. Alves

*Departamento de Computação Visual
Instituto de Pesquisas Eldorado
Campinas, SP, Brazil
alex.alves@eldorado.org.br*

Roberta R. Oliveira

*St de Desenvolvimento Organizacional
da DIS
Companhia Paranaense de Energia
(COPEL)
Curitiba, PR, Brazil
roberta.oliveira@copel.com*

Resumo—O sistema de distribuição de energia elétrica é composto por diferentes equipamentos e, para efetuar serviços programados ou de emergência, os eletricitistas devem ser treinados de maneira efetiva para aprender sobre a rede de distribuição, como operar os equipamentos e as práticas de segurança para evitar acidentes. Contudo, nem todo procedimento ou condição que podem encontrar na rede de distribuição é possível de ser exercitado nos treinamentos convencionais em sala de aula e nos centros de treinamento por conta dos riscos envolvidos e das limitações presentes nestes centros de treinamento. Para oferecer um treinamento mais rico e abrangente, este artigo apresenta um projeto de pesquisa cujo principal produto será um simulador em realidade virtual para a capacitação de eletricitistas para atuarem em redes de distribuição de energia elétrica, contendo situações realísticas muitas vezes não vivenciadas nos treinamentos tradicionais. Para o desenvolvimento do simulador, foram realizadas pesquisas com eletricitistas, instrutores, técnicos de segurança e outros atores envolvidos nos treinamentos atuais. Os resultados até o presente momento comprovam o potencial do simulador proposto para aprimorar as práticas dos treinamentos atuais e, por conseguinte, melhorar os níveis de qualidade dos serviços prestados pelos eletricitistas.

Palavras-chave—*treinamento corporativo, simulador, sistema de distribuição de energia elétrica, realidade virtual*

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, o mercado de aplicações em realidade virtual (RV) está em franca expansão. De acordo com estatísticas do Facebook, desde a criação da loja de aplicativos para o Oculus Quest em maio de 2019 até o início de fevereiro de 2021, mais de 60 títulos para o Oculus Quest ultrapassaram a marca de US\$ 1 milhão em receitas [1]. Isto significa que uma em cada três aplicações pagas na loja de aplicativos do Oculus Quest tem ultrapassado tal marca [1]. De fato, a grande maioria das aplicações em RV atualmente são jogos ou destinadas ao entretenimento. Porém, tanto o Facebook quanto a Goldman & Sachs estimam um crescimento na adoção da RV para além dos jogos, nas mais diversas áreas: educação, indústria

automotiva, saúde, varejo, entre outras [1] [2], muito graças ao barateamento dos *Head-Mounted Displays* (HMDs).

Em se tratando de treinamentos e capacitações profissionais, a RV pode ser um instrumento para motivar e aumentar o interesse no aprendizado, tornando-o mais efetivo [3]. Além disso, para setores em que as práticas de um treinamento presencial envolvem riscos por conta de erros humanos e fatores ambientais, a adoção de ambientes de RV pode auxiliar os aprendizes a reconhecer os sintomas e as causas de acidentes e de situações de risco, assim como aprender a reagir para mitigar ou eliminar tais riscos [4]. Ainda, Amokrane e Lourdeaux [4] destacam que, ao possibilitar aos aprendizes explorarem diversas situações por meio de tentativa e erro sem estarem expostos aos riscos reais, ambientes de RV oferecem uma estratégia efetiva para treinamentos. E, como Mikropoulos et al. [5] também expõem, ambientes de RV permitem ao usuário conduzir seu próprio aprendizado, em seu próprio tempo.

Observa-se, portanto, o potencial de uso da RV em treinamentos profissionais que envolvem riscos aos aprendizes. Este é o caso do setor de distribuição de energia elétrica. Tradicionalmente, os treinamentos neste setor no Brasil são compostos por aulas teóricas formais e práticas em centros de treinamento que, geralmente, representam partes da rede de distribuição de energia elétrica e seus componentes, como postes, cabos, isoladores, transformadores de distribuição, chaves, entre outros. Todavia, estes treinamentos nem sempre conseguem cobrir todos os tipos de equipamentos que os eletricitistas podem encontrar na rede de distribuição. Ainda, os centros de treinamento não representam as características reais do ambiente e as condições da rede de distribuição em campo. Muitas vezes, ao atender chamados em campo, os eletricitistas devem encarar ruas com tráfego intenso de veículos, árvores cujos galhos estão emaranhados com os cabos da rede de distribuição, consumidores que podem não estar satisfeitos com o serviço prestado, cães e outros animais que podem representar uma ameaça, condições

climáticas adversas (ventania, chuva e neblina, por exemplo), entre outros.

Sabendo da carência por treinamentos que possam apresentar aos eletricitistas de redes de distribuição de energia elétrica situações e condições mais próximas do que encontram em seu cotidiano, mas sem expô-los a riscos, este artigo apresenta um ambiente em RV multiusuário que simula cenários realísticos e situações que não podem ser praticadas nos atuais centros de treinamento. O ambiente em questão vem sendo desenvolvido como uma parceria entre o Instituto de Pesquisas Eldorado e a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), sendo parte do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). As próximas seções apresentam alguns trabalhos relacionados, o processo de desenvolvimento do ambiente em RV, os resultados preliminares e as considerações finais.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Em virtude da complexidade e dos riscos envolvidos no sistema de distribuição de energia elétrica, um treinamento efetivo e eficiente para os eletricitistas que irão atuar nele é um fator primordial para garantir a segurança dos envolvidos, a confiabilidade e a qualidade dos serviços prestados aos consumidores. Assim, simuladores para o treinamento de eletricitistas vem sendo propostos desde as últimas duas décadas como ferramentas para enriquecer o aprendizado e a conscientizá-los sobre as boas práticas de segurança no trabalho. Alguns destes simuladores objetivam apenas a visualização de instalações elétricas ou equipamentos isolados enquanto outros encorajam o usuário a interagir com equipamentos e o ambiente para resolver problemas. Também, alguns adotam a RV para oferecer um elevado nível de imersão e realismo.

O STOP [6] é um caso de simulador simples no qual os eletricitistas analisam e interagem com diagramas unifilares de sistemas elétricos, configurando equipamentos como relés, disjuntores e transformadores. Além disso, é possível simular falhas nos sistemas. Todavia, uma das desvantagens do STOP é que a interação é apenas com os diagramas unifilares e, desta maneira, os eletricitistas não tem a experiência de operar os equipamentos reais presentes nos sistemas elétricos.

Um simulador mais realista é o Virtual Substation [7]. Nele, modelos 3D representam uma subestação de distribuição de energia elétrica e seus equipamentos. Embora permita a interação com estes modelos 3D por meio de joysticks e HMDs, a aparência dos equipamentos não é muito realista.

Um projeto mais recente que também simula em RV uma subestação é descrito por Paludo et al. [8]. Nele, todos os equipamentos foram modelados em 3D de acordo com uma subestação real e pode-se interagir com todos os painéis, botões, chaves e seccionadores por meio de controles de movimentos. Além disso, os eletricitistas devem selecionar os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Coletivo (EPCs) apropriados a cada tarefa a ser realizada e há um monitoramento do nível de estresse dos eletricitistas durante o uso do simulador.

III. MATERIAL E MÉTODOS

Os simuladores descritos na seção anterior são extremamente ricos e auxiliam na capacitação de eletricitistas. Porém, nenhum deles objetiva o treinamento de eletricitistas

para atuarem na rede de distribuição de energia elétrica e em seus equipamentos e componentes (postes, isoladores, cabos, chaves, transformadores de distribuição, entre outros), tampouco apresentam aos eletricitistas desafios comuns encontrados no dia-a-dia de trabalho em campo. Além disso, nenhum dos simuladores é multiusuário ou promove uma efetiva colaboração entre os eletricitistas para a resolução de problemas propostos. Assim, o projeto descrito neste artigo propõe o desenvolvimento de um ambiente em RV multiusuário para o treinamento de eletricitistas de redes de distribuição da COPEL.

Para entender as necessidades de instrutores e eletricitistas, identificar as “dores” dos treinamentos atuais e como um ambiente em RV multiusuário pode auxiliar os treinamentos, foram realizadas entrevistas não estruturadas com eletricitistas, especialistas em segurança, instrutores e engenheiros no início do projeto. Por meio destas entrevistas, ficou clara a importância da segurança no trabalho e do uso adequado de EPIs e EPCs. Também, notou-se o desejo dos entrevistados para que os treinamentos pudessem estimular os eletricitistas a praticarem serviços que, no campo, possuem uma taxa elevada de acidentes, mas que nem sempre podem ser exercitados nos treinamentos convencionais. Além das entrevistas, os pesquisadores do projeto puderam acompanhar um treinamento completo de emenda de cabos para observar como são os treinamentos atuais e as dinâmicas utilizadas.

Após as entrevistas e o acompanhamento do treinamento presencial de emenda de cabos, em conjunto com instrutores e técnicos, decidiu-se pela implementação no ambiente proposto de um primeiro exercício de poda de árvores. Para isto, os eletricitistas deveriam utilizar uma motosserra e um caminhão com hidroelevador para acesso ao plano elevado (isto é, aos galhos e ramos da árvore a serem podados e que estão em conflito com os cabos da rede de distribuição de energia elétrica).

Com o intuito de levantar o perfil demográfico e de avaliar as opiniões de eletricitistas e instrutores sobre os treinamentos atuais e expectativas quanto a futuros treinamentos, também foi aplicado um questionário *online* com questões abertas e fechadas, estas últimas usando uma escala Likert de 7 pontos. O questionário visava compreender a visão de eletricitistas e instrutores sobre os treinamentos atuais (e expectativas para treinamentos futuros), solicitando que avaliassem os treinamentos entre teóricos ou práticos, sérios ou lúdicos, formais ou informais, individuais ou coletivos, dentre outros. Com base nas respostas obtidas e nas entrevistas realizadas, foi possível criar personas para dois usuários representativos para o projeto: uma para eletricitista e outra para instrutor.

Para o desenvolvimento do projeto, foi adotado o *framework* ágil Scrum com *sprints* de duas semanas e o motor de jogos Unity 3D [9] associado ao plugin SteamVR [10] para oferecer o suporte à RV. Atualmente, são suportados pelo projeto os seguintes dispositivos de RV: Oculus Quest [11], HTC Vive [12] e o Windows Mixed Reality/Lenovo Explorer [13]. A criação dos modelos 3D para representar tanto os componentes da rede de distribuição de energia elétrica quanto o cenário urbano está sendo realizada por uma equipe especializada a partir de fotos, vídeos e especificações técnicas de fabricantes de equipamentos.

A fim de fornecer um alto grau de realismo e sensação de imersão, procurou-se, sempre que possível, implementar gestos com controles de movimento para a interação com os

objetos presentes no ambiente em RV. Por exemplo, para dar partida na motosserra, o usuário necessita puxar a alavanca de partida do motor e, para cortar galhos de uma árvore, deve realizar movimentos com a motosserra passando-a por tais galhos. Há também gestos para expandir e recolher a vara telescópica de manobras e abrir e fechar chaves em plano elevado puxando e empurrando-as com a vara telescópica de manobras a uma distância segura.

Uma vez que os eletricitistas precisam realizar os serviços sempre em equipe, cada um com um papel bem definido (por exemplo, no caso de uma dupla, um será o executor e o outro o supervisor), a comunicação entre eles no ambiente em RV é fundamental. Sendo assim, foi implementado um rádio virtual acessível por meio de um botão no controle de movimentos para que possam se comunicar e coordenar suas ações durante um exercício.

Desde o início do desenvolvimento do projeto, foram realizadas avaliações de usabilidade para avaliar as suas principais funcionalidades, tais como os mecanismos de locomoção, a interação por meio de gestos com os equipamentos virtuais e os materiais de apoio acessíveis pelos usuários, em especial os vídeos e os documentos de boas práticas de segurança. Inicialmente, as avaliações de usabilidade foram realizadas por meio de testes com usuários voluntários. Porém, devido às restrições impostas pela pandemia do novo coronavírus, desde março de 2020 optou-se por realizar avaliações heurísticas de usabilidade conforme convencionado por Nielsen [14], com os avaliadores trabalhando de forma remota. Resumidamente, os testes com usuários foram aplicados para avaliar os métodos de locomoção, gestos com a vara telescópica de manobras e com a motosserra e a visualização de documentos ao passo que a avaliação heurística de usabilidade foi adotada para avaliar a visualização de documentos e vídeos, as configurações do ambiente e a comunicação entre os eletricitistas. Ao todo, 21 voluntários participaram dos testes de usabilidade e 3 especialistas em usabilidade efetuaram as avaliações heurísticas de usabilidade. Parte dos resultados dos testes de usabilidade foi publicada [15].

Vale a pena salientar que todos os voluntários aceitaram participar das pesquisas *online* e dos testes de usabilidade dando sua ciência a um Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE), que explicava os objetivos das pesquisas e dos testes, que os dados pessoais seriam mantidos em sigilo, que a identidade dos participantes seria mantida no anonimato e que os resultados dos testes seriam utilizados exclusivamente para fins do projeto. Além disso, o TCLE reforçava que a participação era voluntária e que os participantes poderiam desistir de continuar a pesquisa a qualquer momento.

IV. RESULTADOS

A. Questionários

As Figuras 1 a 6 mostram os resultados do questionário aplicado entre eletricitistas e instrutores para identificar suas percepções dos treinamentos atuais e que expectativas teriam para os futuros treinamentos. Ao todo, 93 voluntários responderam ao questionário, sendo que 76 respondentes eram eletricitistas.

Sobre o perfil dos respondentes, é interessante notar que uma quantidade expressiva está acima dos 30 anos: somando-se as faixas etárias, 80,6% dos respondentes disseram estar

com 31 anos ou mais, sendo que destes 20,4% estão na faixa de 41 a 50 anos e 9,7% com 51 anos ou mais.

Ainda, pelos resultados do questionário, pode-se notar que os treinamentos atuais são considerados balanceados entre teoria e prática, mas que os respondentes esperam que, no futuro, ocorram mais práticas nos treinamentos, o que reforça a adoção do ambiente em RV proposto. Entre sério e lúdico, vê-se que os presentes treinamentos foram avaliados como mais sérios do que lúdicos e assim é esperado que continuem no futuro. E, também, é desejo dos respondentes que os treinamentos continuem a incentivar o trabalho coletivo e colaborativo, como são atualmente.

De acordo com os respondentes, os maiores desafios nos treinamentos atuais são: “Tornar o treinamento interessante” (38,7%), “Tornar o treinamento uma fonte de consulta acreditada pelos eletricitistas” (33,3%), “Aumentar o engajamento tanto de eletricitistas quanto de instrutores” (9,7%) e “Resistência dos instrutores em utilizar novas tecnologias” (8,6%).

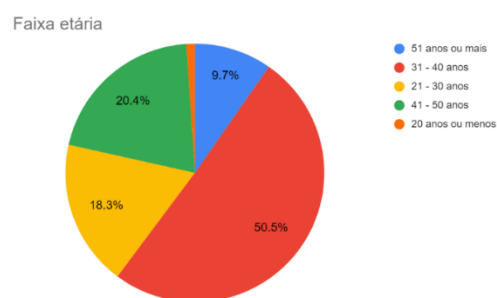


Fig. 1. Faixa etária dos respondentes (eletricitistas e instrutores).

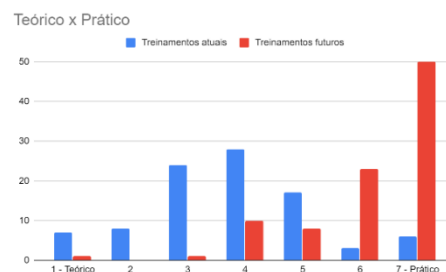


Fig. 2. Visão de eletricitistas e instrutores sobre treinamentos atuais e futuros: teórico x prático.

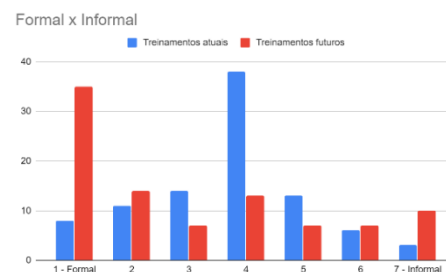


Fig. 3. Visão de eletricitistas e instrutores sobre treinamentos atuais e futuros: formal x informal.

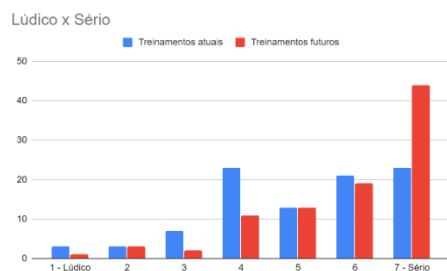


Fig. 4. Visão de eletricitistas e instrutores sobre treinamentos atuais e futuros: lúdico x sério.

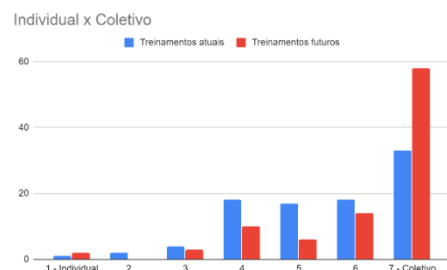


Fig. 5. Visão dos eletricitistas sobre treinamentos atuais e expectativas para os futuros treinamentos.



Fig. 6. Visão dos eletricitistas sobre treinamentos atuais e expectativas para os futuros treinamentos.

B. Personas

A partir das entrevistas não estruturadas e dos questionários aplicados, foram propostas duas personas para o projeto, conforme as Tabelas 1 e 2.

As personas propostas foram, então, adotadas para que a equipe de desenvolvimento pudesse compreender as prioridades dos itens em *backlog* de acordo com as necessidades e demandas das personas e, assim, auxiliar na percepção e na identificação de como os usuários utilizarão o ambiente em RV proposto. Também, serviram para criar uma visão compartilhada entre todos os pesquisadores envolvidos no projeto sobre os principais usuários do ambiente em RV proposto.

TABLE I. PERSONA CRIADA PARA REPRESENTAR ELETRICISTAS

Samuel, eletricitista		
Idade	Estado civil	Ocupação
41 anos	Casado	Eletricista de campo
Principais características:		
• Zeloso, procura seguir sempre as normas • Sempre alerta no trabalho e com a segurança • Gosta de aprender e se atualizar		
Frustrações:		
• Treinamentos repetitivos, "mais do mesmo"		

- Faltam atividades práticas nos treinamentos
- Gostaria de participar mais ativamente dos treinamentos

Biografia:

Desde pequeno, Samuel sempre se interessou por eletricidade e ficava fascinado quando via os caminhões da COPEL na vizinhança realizando manutenções na rede. Quando fez 20 anos, Samuel decidiu fazer um curso de eletricitista e não parou mais. Após trabalhar alguns anos em empresas particulares, Samuel foi admitido como eletricitista de redes de distribuição em 2009.

Muito estimado pelos seus colegas por sua organização e atenção às normas e procedimentos, Samuel procura sempre alertá-los sobre fatores de risco no trabalho. Também, Samuel aproveita cada treinamento que realiza para tirar dúvidas com os instrutores e para se aprofundar mais e mais. Todavia, Samuel acredita que os treinamentos são escassos e muitas vezes há pouco tempo para eles, especialmente para realizar atividades práticas.

TABLE II. PERSONA CRIADA PARA REPRESENTAR INSTRUTORES

Marcos, instrutor eletricitista		
Idade	Estado civil	Ocupação
45 anos	Divorciado	Instrutor eletricitista
Principais características:		
• Autodidata • Gosta de compartilhar tudo o que aprende • Comunicativo		
Frustrações:		
• Eletricitistas desmotivados nos treinamentos • Impossibilidade de propor atividades práticas diferentes nos treinamentos • Treinamentos de curta duração		
Biografia:		
Marcos é eletricitista de baixa tensão da COPEL desde 2005, tendo atuado sempre de forma precisa, segura e eficiente em todos os chamados que foi envolvido. Por conta de sua positividade, sua energia e sua vontade de se especializar cada vez mais e compartilhar com seus colegas as suas descobertas, Marcos foi convidado a se tornar instrutor no final de 2015. Desde então, Marcos tem procurado melhorar os materiais que utiliza em seus treinamentos, mas sente falta de ferramentas de ensino-aprendizagem e materiais didáticos que estimulem a participação ativa dos eletricitistas. E, por ter já passado por muitos treinamentos, Marcos entende quando suas turmas se sentem frustradas pelas poucas atividades práticas efetivamente realizadas nos treinamentos. Para compensar, Marcos coordena um grupo de WhatsApp com suas turmas de eletricitistas para sanar dúvidas pós-treinamentos.		

C. Desenvolvimento do ambiente em RV

Conforme descrito anteriormente, o primeiro exercício definido para o ambiente em RV proposto foi um serviço de poda de árvores em um cenário urbano. Assim, o cenário implementado representa de forma realista uma rua típica de cidades brasileiras, com casas, prédios, calçadas, carros, semáforos, placas de sinalização de trânsito e árvores. Dentre os elementos da rede de distribuição de energia elétrica, foram

criados modelos 3D para postes, cruzetas, cabos, isoladores do tipo roldana (de baixa tensão), isoladores do tipo pino e de ancoragem (ambos de média tensão), chaves fusíveis, além do caminhão com hidroelevador para acesso ao plano elevado. Além disso, o uniforme dos eletricitistas, os EPIs e os EPCs necessários para realizar as atividades com segurança foram modelados de acordo com seus equivalentes no mundo real. Segundo eletricitistas e especialistas em segurança que tiveram contato com o ambiente proposto, todos os modelos estão visualmente realistas, o que proporciona, de fato, uma grande sensação de “estar em uma rua com rede de distribuição aérea da COPEL”. As Figuras 7 a 10 mostram algumas telas capturadas do ambiente em RV implementado.



Fig. 7. Eletricitista e caminhão com hidroelevador.



Fig. 8. Eletricitista com EPIs preparando-se para a poda de uma árvore.

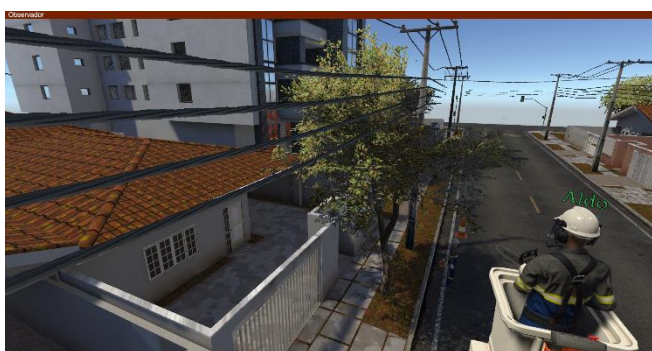


Fig. 9. Eletricitista no hidroelevador à direita de uma árvore, após realizar uma poda em L, sendo observado por um instrutor em modo observador.

Para realizar os exercícios propostos no ambiente, assim como no mundo real, há sempre a necessidade de uma equipe composta por dois eletricitistas que exercem com papéis distintos e bem definidos: um supervisor, que fica em solo dando suporte, e um executor, que, do cesto aéreo do hidroelevador, faz a poda de uma árvore ou a abertura ou fechamento de chaves fusível, por exemplo. Além disso, cada tipo de atividade requer um conjunto de EPIs e EPCs, tais

como capacete, óculos de segurança, protetor facial, protetor auricular, luvas de proteção, luvas isolantes, cinto de segurança do tipo paraquedista com talabarte, cones de sinalização, entre outros.



Fig. 10. Inventário para seleção de equipamentos.

As ações realizadas pelos eletricitistas em um exercício devem seguir uma sequência pré-definida de acordo com manuais de procedimentos e segurança no trabalho da COPEL. Por exemplo, no caso de poda de árvores, os eletricitistas devem:

1. Identificar a árvore a ser podada e averiguar se há riscos para a realização da poda da mesma (abelhas, por exemplo).
2. Equipar-se com os EPIs apropriados. No caso da poda da árvore, os EPIs são: luvas de proteção, óculos de segurança, protetor facial, protetor auricular, cinto de segurança e talabarte.
3. Isolar a área de trabalho com cones.
4. Enquanto o executor acessa os galhos da árvore pelo hidroelevador para realizar a poda, o supervisor deve permanecer em solo, próximo ao caminhão e observando o trabalho do executor.
5. Após a poda, recolher cones.

Para dar maior variabilidade, a poda a ser realizada na árvore pode ser de diferentes tipos: em L à esquerda ou à direita, de contenção, em furo ou em “V”. Assim, ao acessar os galhos da árvore, o eletricitista executor deve selecionar a região correta da copa da árvore para efetuar a poda e usar a motosserra para cortar os galhos desta região. No caso de uma escolha incorreta da região a ser realizada a poda, é feito um registro no log do exercício para posterior análise dos instrutores.

Além do exercício de poda, já foram implementados também exercícios que exigem a abertura e o fechamento de chaves fusível utilizando uma vara telescópica de manobras.

Adicionalmente, no caso de serem realizadas ações inapropriadas, por exemplo, a abertura de uma chave fusível sem a necessidade durante um serviço que exigia apenas a poda de uma árvore, ou a falta de EPIs durante uma ação, é adicionado um registro no log do exercício que, posteriormente, pode ser analisado pelos instrutores. Além do registro das falhas nas ações esperadas, o log dos exercícios contém também informações sobre o tempo para realizar o exercício pela equipe de eletricitistas.

Além dos logs dos exercícios, os instrutores podem acompanhar em tempo real a execução dos exercícios por

meio do modo observador, conforme ilustrado na Figura 9. Neste modo, os instrutores podem “seguir” um dos eletricitistas no exercício ou mesmo navegar livremente pelo cenário.

A fim de proporcionar mais realismo e trazer outras questões a serem analisadas pelos eletricitistas, o cenário proposto também fornece variáveis temporais e climáticas. Ou seja, os exercícios podem ser executados de dia ou de noite e, também, com tempo firme, chuva fraca ou chuva forte. Também, conforme discutido com os instrutores e eletricitistas, será adicionada ainda a neblina como um dos fatores climáticos possíveis para os exercícios. Assim, os eletricitistas deverão avaliar se as condições temporais e climáticas permitem a realização das tarefas propostas nos exercícios com segurança ou não. Por exemplo, em caso de chuva forte, a poda de árvore não pode ser realizada.

Uma das dificuldades identificadas no uso do ambiente proposto foi a comunicação entre os eletricitistas, o Centro de Operações de Distribuição (COD) e o Instrutor Virtual (IV), pois o COD, o IV e os próprios eletricitistas adotavam o mesmo tipo de voz, produzida por um serviço de conversão de texto para fala. Apesar de ser a única voz masculina disponível no serviço de conversão de texto para fala, o mesmo serviço também possuía duas vozes femininas bem distintas. Assim, após uma enquête realizada com eletricitistas sobre a aceitação de uso de vozes femininas, optou-se pela adoção de vozes femininas distintas para o COD e o IV e manter a voz masculina para os eletricitistas.

D. Avaliações de usabilidade

Segundo a documentação de boas práticas da Oculus [16], a locomoção é uma das funcionalidades mais difíceis a serem implementadas em um ambiente em RV e uma das mais importantes para se fazer bem feito, pois, caso contrário, mesmo usuários mais familiarizados e experientes com dispositivos de RV podem sentir desconfortos e enjoos. O mesmo documento destaca a importância de se realizar testes com usuários de qualquer proposta de locomoção em um ambiente em RV.

Tendo isso em mente, foram realizados testes com 21 voluntários ao longo do projeto para avaliar diferentes métodos de locomoção em RV. Os resultados detalhados estão disponíveis em [15]. De forma concisa, a partir destes testes, decidiu-se pela adoção de dois métodos de locomoção: a locomoção contínua com redução do campo de visão e a locomoção discreta, também conhecida como teletransporte.

A locomoção contínua é o método mais tradicional de jogos em primeira pessoa: por meio das alavancas analógicas dos controles de movimento, pode-se mover para frente, para trás e para os lados, além de rotacionar a câmera do usuário. Ou seja, enquanto uma das alavancas está pressionada para um dos lados, o usuário movimenta-se ou gira seu corpo virtual para aquele lado de forma contínua. Como este tipo de movimento ocasiona elevados índices de enjoo em RV [17], diferentes abordagens podem ser adotadas para mitigar os enjoos e uma delas é justamente a redução do campo de visão [18], que simplesmente adiciona bordas pretas ao redor da visão do usuário, reduzindo o campo de visão a um círculo menor. Com isto, reduz-se os estímulos visuais na visão periférica do usuário e, por conseguinte, o cérebro registra menores discrepâncias no movimento virtual e tem-se uma menor propensão a enjoos durante a locomoção.

Já a locomoção discreta ou teletransporte é realizada da seguinte forma: o usuário lança um raio ou arco para frente e, no ponto em que o raio ou arco atinge uma superfície, o usuário pode ser diretamente transportado para ele. Apesar de resolver o problema de enjoos em ambientes de RV por simplesmente eliminar o movimento contínuo da câmera, uma das principais críticas ao teletransporte é justamente que ele gera descontinuidade da locomoção, comprometendo a sensação de imersão [19].

A decisão por se manter no ambiente de RV proposto tanto a locomoção contínua com redução do campo de visão quanto a discreta, se deu justamente pelo fato de que, pelos testes com usuários, a locomoção discreta ter resultado em menores níveis de desconforto se comparada com a locomoção contínua. Todavia, segundo os usuários participantes dos testes, a locomoção contínua foi mais fácil de ser utilizada.

Ainda, sabendo que um conjunto de RV (óculos e controles de movimento) pode não estar disponível a todos os usuários e que há usuários mais sensíveis aos movimentos em ambientes de RV, por mais que tenham sido realizados esforços para aprimorar os métodos de locomoção para evitar enjoos e desconfortos, o ambiente proposto permite a utilização também em modo não imersivo com um monitor, um teclado e um mouse ou um *gamepad* convencionais.

Outro teste de usabilidade realizado foi para avaliar os gestos com a motosserra (ligar a motosserra, desligar a motosserra, acelerar e passar a motosserra sobre ramos de uma árvore) e com a vara telescópica de manobras (expandir uma seção, retrair uma seção, abrir chave fusível na rede aérea e fechar chave fusível na rede aérea). Para este teste, foram recrutados 4 voluntários e o objetivo era identificar a forma mais confortável de realizar os gestos: em pé ou sentado. Assim, os usuários foram convidados a realizar os exercícios de poda de árvores, e de abertura e fechamento de chaves fusível em pé e sentados e, em seguida, responder a um questionário de satisfação. As Figuras 11 e 12 mostram as respostas ao questionário.

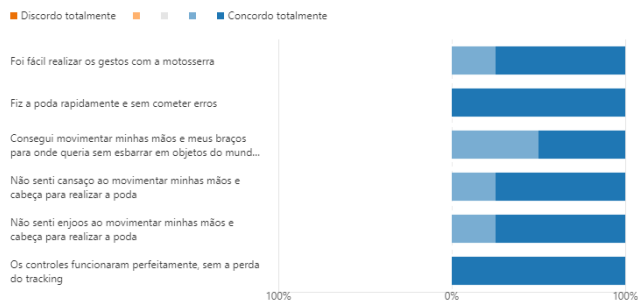
Pelos resultados encontrados sobre o uso da motosserra, nota-se que houve resultados idênticos sentado e em pé para os três primeiros critérios (facilidade de realizar a poda, velocidade x erros, colisões com objetos do mundo real), além dos participantes não terem se queixado de cansaço em nenhum dos modos, sentados ou em pé. Porém, a incidência de enjoos foi maior com os usuários em pé do que sentados.

Dentre os comentários dos participantes sobre a tarefa de poda de árvores com a motosserra, um que chamou a atenção foi sobre a subida no hidroelevador. Dois participantes descreveram que a subida do hidroelevador quando estavam em pé causou certo desconforto.

As interações com a vara telescópica de manobras foram as que tiveram mais incidência de respostas negativas nos questionários respondidos pelos participantes. Pode-se observar que os gestos para abrir e fechar a chave fusível do cenário, foi considerada uma tarefa não muito fácil, os participantes cometeram erros e não foi uma tarefa que puderam concluir com rapidez, tanto sentados quanto em pé. Além disso, os gestos realizados causaram cansaço nos participantes em ambos os modos (sentado e em pé). Entretanto, não foi observado enjoos pelos participantes em nenhum dos modos.

7. Para cada uma das afirmações abaixo, assinale a opção que melhor reflete a sua opinião sobre realizar a poda da árvore SENTADO:

[More Details](#)



8. Para cada uma das afirmações abaixo, assinale a opção que melhor reflete a sua opinião sobre realizar a poda da árvore DE PÉ:

[More Details](#)

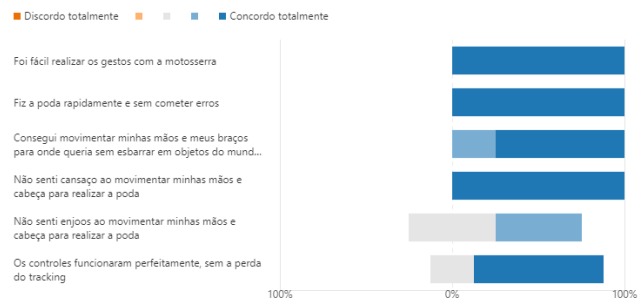
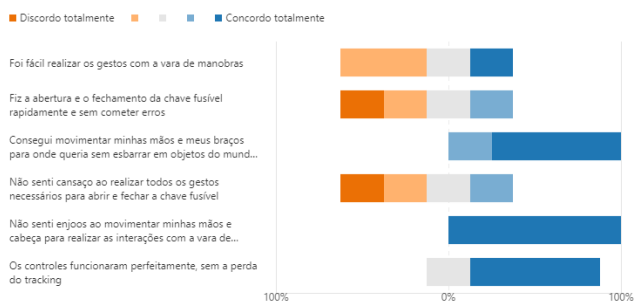


Fig. 11. Preferências de uso da motosserra.

12. Para cada uma das afirmações abaixo, assinale a opção que melhor reflete a sua opinião sobre realizar as interações com a vara de manobras SENTADO:

[More Details](#)



13. Para cada uma das afirmações abaixo, assinale a opção que melhor reflete a sua opinião sobre realizar as interações com a vara de manobras EM PÉ:

[More Details](#)

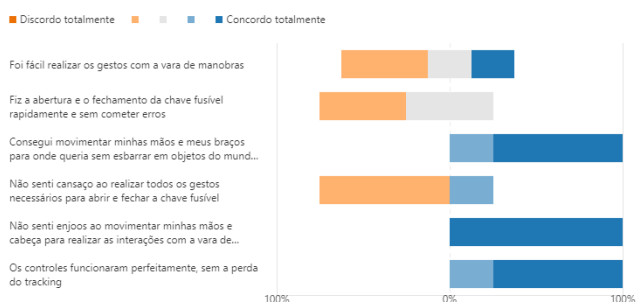


Fig. 12. Preferências de uso da vara telescópica de manobras.

Possivelmente, as interações de abrir e fechar chaves fusível foram dificultadas por terem sido realizadas em solo, em uma distância considerável entre o usuário e as chaves na rede aérea, visto que isso exige maior precisão dos movimentos nos controles para, primeiro, selecionar uma chave fusível e, segundo, fazer o gesto de puxar ou elevar para

interagir com a chave. Inclusive, dois participantes comentaram que foi muito difícil interagir com as chaves estando em solo. Assim, caso a distância fosse reduzida (por exemplo, o usuário estando em cima da escada ou no cesto aéreo do hidroelevador), estas dificuldades poderiam ser minimizadas. Também, segundo a análise da equipe de desenvolvimento, relaxando determinadas regras de implementação estabelecidas para identificar se o usuário deseja abrir ou fechar a chave fusível (tais como identificar a velocidade do gesto, a altura da ponta da vara telescópica de manobras, entre outros), poderia tornar mais fácil realizar estas interações com as chaves em rede aérea usando a vara telescópica de manobras.

Por fim, a última avaliação de usabilidade realizada foi a avaliação heurística do tablet virtual com o qual os eletricitistas acessam aplicativos para configurar o ambiente de RV, documentos de normas técnicas da COPEL, tiram fotos, assistem vídeos com dicas de segurança, entre outros. A Figura 13 apresenta uma tela do tablet virtual.

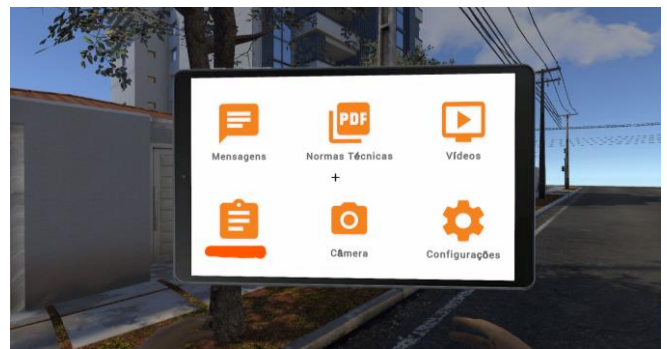


Fig. 13. Tablet virtual.

Ao todo, foram descobertos 19 problemas de usabilidade no tablet virtual pelos avaliadores de usabilidade. A Tabela 3 apresenta a quantidade de problemas de acordo com os graus de severidade.

TABLE III. PROBLEMAS DE USABILIDADE DESCOBERTOS NO TABLET VIRTUAL DE ACORDO COM O GRAU DE SEVERIDADE

Grau de severidade	Ocorrências
0 - Sem importância - Não afeta o uso da interface	0
1- Cosmético	3
2 - Simples - Problema de baixa prioridade	7
3 - Grave - Problema de alta prioridade	9
4 - Catastrófico – muito grave	0

Dentre os problemas classificados como graves, isto é, com severidade 3, encontram-se a impossibilidade de usar o *mouse wheel* para fazer scroll nas telas do tablet virtual, violando as heurísticas de Consistência e padrões e Flexibilidade e eficiência de uso, a impossibilidade de fazer *drag-and-drop* no cursor do reprodutor de vídeos, também violando as heurísticas de Consistência e padrões e Flexibilidade e eficiência de uso, a ausência de busca pelos documentos de normas técnicas, violando as heurísticas de Flexibilidade e eficiência de uso e Reconhecimento em vez de memorização, e a dificuldade e imprecisão em se pressionar

botões pequenos na tela do tablet virtual, violando as heurísticas de Prevenção de erros.

Dentre os problemas descobertos na avaliação heurística de usabilidade, sete já foram corrigidos (destes, três eram de severidade 3) e os demais já estão mapeados para serem corrigidos nas próximas *sprints* da equipe de desenvolvimento.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou um ambiente em RV multiusuário em desenvolvimento para a capacitação de eletricitistas para trabalhar em redes de distribuição de energia elétrica. O ambiente proposto conta com um cenário urbano realista e com elementos que compõem uma rede de distribuição típica, como postes, cruzetas, cabos de baixa e média tensão, chaves fusíveis, isoladores, entre outros. Neste cenário, já existem exercícios para a prática de poda de árvores e para a abertura e fechamento de chaves fusível.

O *feedback* de instrutores e eletricitistas até o presente momento aponta que, com o ambiente em RV proposto, será possível a prática de exercícios que não podem ser realizados com tanta frequência, mas que fazem parte do cotidiano dos eletricitistas em campo. Adicionalmente, o ambiente proposto possibilita a prática de exercícios em condições adversas, como com chuva e/ou à noite. Assim, espera-se que o ambiente proposto possa aprimorar os treinamentos atuais, possibilitando aos eletricitistas praticarem situações que muitas vezes não podem ser experimentadas nos treinamentos atuais. E, com isto, espera-se também melhorar a qualidade do serviço prestado pelos eletricitistas e reduzir os índices de acidentes.

Vale ressaltar que, dentre os comentários positivos dos eletricitistas e instrutores, está que o ambiente proposto “parece com um vídeo game”. E este fato tem instigado a curiosidade de todos para participar cada vez mais das pesquisas do projeto e motivando a utilização do ambiente em desenvolvimento por cada vez mais eletricitistas, técnicos e engenheiros da COPEL.

Além do uso do ambiente em RV para a prática de exercícios em condições que muitas vezes os eletricitistas precisam encarar no seu dia-a-dia, mas que nem sempre conseguem praticar nos treinamentos atuais, os profissionais da área de educação corporativa da COPEL que puderam acompanhar o projeto até o momento levantaram a possibilidade de utilizar telas capturadas do ambiente proposto para enriquecer outros materiais adotados nos treinamentos, como apresentações. E os próprios instrutores, com o uso do simulador em modo não imersivo, podem demonstrar por meio de um telão para uma turma de eletricitistas em sala de aula como devem ser realizados certos procedimentos.

Dentre os trabalhos futuros, são planejadas a adição de novos exercícios ao ambiente proposto, contemplando outros equipamentos da rede de distribuição de energia elétrica, a criação de um tutorial para ensinar os eletricitistas como utilizar os dispositivos de RV e interagir com os principais elementos do ambiente, a inclusão de elementos de gamificação (pontuação, ranking, medalhas, entre outros) para aumentar a motivação e o engajamento dos eletricitistas com os treinamentos e a implementação de um sistema Web para gerenciamento dos treinamentos no ambiente em RV e para a visualização de relatórios de desempenho dos eletricitistas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos eletricitistas, instrutores, técnicos e demais profissionais da COPEL que participaram das pesquisas realizadas neste projeto. Também, agradecem aos voluntários de testes e especialistas em usabilidade que gentilmente auxiliaram nas avaliações heurísticas de usabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Verdu, “From Bear To Bull: How Oculus Quest 2 Is Changing The Game For VR,” 02 February 2021. [Online]. Available: <https://www.oculus.com/blog/from-bear-to-bull-how-oculus-quest-2-is-changing-the-game-for-vr/>.
- [2] H. Bellini, W. Chen, M. Sugiyama, M. Shin, S. Alam e D. Takayama, “Virtual & Augmented Reality: Understanding the race for the next computing platform,” 09 February 2016. [Online]. Available: <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/virtual-and-augmented-reality-report.html>. [Acesso em 14 July 2021].
- [3] D. M. Popovici e A.-M. Marhan, “Virtual Reality-Based Environments for Learning and Training,” em *Product Engineering*, Springer Science, 2008, pp. 123-142.
- [4] K. Amokrane e D. Lourdeaux, “Virtual Reality Contribution to Training and Risk Prevention,” em *2009 International Conference on Artificial Intelligence*, Las Vegas, 2009.
- [5] T. Mikropoulos, A. Chalkudis, A. Katsisis e P. Kossivaki, “Virtual realities in environmental education: The project LAKE,” *Education and Information Technologies*, vol. 2, pp. 131-142, 1997.
- [6] C. H. de Castro Silva, R. F. Sampaio, R. P. S. Leão, G. C. Barroso e J. M. Soares, “Desenvolvimento de um Laboratório Virtual para Capacitação Tecnológica à Distância em Proteção de Sistemas Elétricos,” *Revista Novas Tecnologias na Educação*, July 2011.
- [7] R. C. Silva, VIRTUAL SUBSTATION um sistema de realidade virtual para treinamento de operadores de subestações elétricas, Uberlândia, MG: UFU, 2012.
- [8] J. A. Paludo, E. H. Tanaka, R. Bacchetti, L. R. Domingues, C. S. Cordeiro, O. Giraldo Junior, E. Gadben, G. A. Gallo, M. Cascone e A. Euflasino, “Plataforma Virtual Interativa para Capacitação de Eletricitistas em Subestações,” *P&D: REVISTA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DA ANEEL*, pp. 58-61, 2017.
- [9] Unity, “Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D, VR, AR...,” 2021. [Online]. Available: <https://unity.com/>. [Acesso em 30 04 2021].
- [10] Valve Corporation, “SteamVR Plugin,” 2021. [Online]. Available: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647>. [Acesso em 30 04 2021].
- [11] Oculus, “Oculus Quest,” [Online]. Available: https://www.oculus.com/quest/?locale=pt_BR. [Acesso em 28 01 2020].
- [12] HTC, “Vive Cosmos,” [Online]. Available: <https://www.vive.com/us/product/vive-cosmos/features/>. [Acesso em 28 01 2020].
- [13] Lenovo, “Lenovo Explorer,” [Online]. Available: <https://www.lenovo.com/br/pt/realidad-virtual-y-smart-devices/virtual-reality/lenovo-explorer/Lenovo-Explorer/p/G10NREAG0A2>. [Acesso em 29 May 2020].
- [14] J. Nielsen, “Heuristic evaluation,” em *Usability Inspection Methods*, New York, John Wiley & Sons, 1994.
- [15] E. Tanaka, T. Paula, A. Silva, V. Antunes, L. Domingues, L. de Almeida, A. Alves e R. Oliveira, “Evaluation of immersive virtual reality locomotion mechanisms,” em *19th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC '20)*, Diamantina, 2020.
- [16] Oculus, “Introduction to Best Practices,” [Online]. Available: <https://developer.oculus.com/design/book-bp/>. [Acesso em 29 May 2020].
- [17] P. White e A. Stevens, “Lessons Learned From Five Years of VR Locomotion Experiments,” 20 April 2018. [Online]. Available: <https://www.gamasutra.com/blogs/PaulWhite/20180420/316170/Le>

- ssons_Learned_From_Five_Years_of_VR_Locomotion_Experiments.php. [Acesso em 29 May 2020].
- [18] A. S. Fernandes e S. K. Feiner, “Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification,” em *Proceedings of the 2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, Greenville, SC, 2016.
- [19] C. Boletsis e J. E. Cedergre, “VR Locomotion in the New Era of Virtual Reality: An Empirical Comparison of Prevalent Techniques,” *Advances in Human-Computer Interaction*, vol. 2019, 01 April 2019.
- [20] J. M. Kumar, M. Herger e R. Frie, “Bartle’s Player Types for Gamification,” 2020. [Online]. Available: <https://www.interaction-design.org/literature/article/bartle-s-player-types-for-gamification>. [Acesso em 30 04 2021].
- [21] M. Barr, “The Bartle Test of Gamer Psychology,” [Online]. Available: <https://matthewbarr.co.uk/bartle/>. [Acesso em 20 July 2021].