

ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA

CRIAÇÃO IMERSIVA DE ROTEIROS PARA TREINAMENTOS DE TAREFAS MANUAIS

Porto Alegre
2024

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul

Vinicius Chrisosthemos Teixeira

CRIAÇÃO IMERSIVA DE ROTEIROS PARA TREINAMENTOS DE TAREFAS MANUAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 22 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Isabel H. Manssour (PPGCC/PUCRS)

Prof. Dr. Ezequiel Zorzal (PPG-IT/UNIFESP)

Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho (PPGCC/PUCRS - Orientador)

Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos (PGETEMA/PUCRS -
Coorientador)

Ficha Catalográfica

T266c Teixeira, Vinicius Chrisosthemos

Criação Imersiva de Roteiros para Treinamentos de Tarefas
Manuais / Vinicius Chrisosthemos Teixeira. – 2024.

89.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em
Ciência da Computação, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos.

1. Treinamento. 2. Framework. 3. Realidade Virtual. 4. Realidade
Aumentada. I. Pinho, Márcio Sarroglia. II. Santos, Carlos Alexandre
dos. III. , . IV. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da PUCRS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecária responsável: Clarissa Jesinska Selbach CRB-10/2051

CRIAÇÃO IMERSIVA DE ROTEIROS PARA TREINAMENTOS DE TAREFAS MANUAIS

RESUMO

O emprego da Realidade Virtual e Aumentada em contextos de treinamento tem despertado considerável interesse na esfera industrial nos últimos anos, impulsionado pelo avanço contínuo dos equipamentos e métodos de rastreamento. Tal interesse resultou na concepção de diversas aplicações voltadas para aprimorar o processo de aprendizado de profissionais em atividades manuais. Entretanto, a maioria dessas aplicações é desenvolvida de maneira específica para treinamento em uma atividade particular, muitas vezes sem oferecer a facilidade e acessibilidade desejadas para ajustes no treinamento por parte de usuários não programadores. Diante desse cenário, o presente trabalho propõe uma ferramenta destinada à elaboração de roteiros para tarefas manuais em ambientes imersivos. Essa ferramenta viabiliza a criação de sessões de treinamento, possibilitando a inserção de elementos digitais como modelos 3D, animações e arquivos multimídia (texto, imagem e vídeo). Para validar a eficácia da ferramenta, conduziu-se um estudo com usuários, objetivando verificar a facilidade de aprendizado proporcionada pela interação e funcionalidade do sistema.

Palavras-chave: Treinamento – Authoring – Realidade Virtual – Realidade Aumentada

IMMERSIVE SCRIPT CREATION FOR MANUAL TASK TRAINING

ABSTRACT

The use of Virtual and Augmented Reality in training contexts has aroused considerable interest in the industrial sphere in recent years, driven by the continuous advance of equipment and tracking methods. This interest has resulted in the design of several applications aimed at improving the learning process for professionals in manual activities. However, most of these applications are developed specifically for training in a particular activity, often without offering the desired ease and accessibility for training adjustments by non-programming users. Against this backdrop, this paper proposes a tool for creating scripts for manual tasks in immersive environments. This tool makes it possible to create training sessions by inserting digital elements such as 3D models, animations and multimedia files (text, image and video). To validate the tool's effectiveness, a user study was conducted to verify the ease of learning provided by the system's interaction and functionality.

Keywords: Training - Authoring - Virtual Reality - Augmented Reality

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: EXEMPLO DE APLICAÇÃO UTILIZANDO REALIDADE AUMENTADA	11
FIGURA 2: EXEMPLO DE AMBIENTE VIRTUAL.	15
FIGURA 3: EXEMPLO DE REGISTRO SEM E COM OCLUSÃO DE OBJETOS VIRTUAIS.	16
FIGURA 4: BOTÕES UTILIZADOS DO CONTROLE DO META QUEST PRO.	28
FIGURA 5: SUPORTE DE ALINHAMENTO DO CONTROLE.	30
FIGURA 6: PROCEDIMENTO PARA PASSAR DE ETAPA USANDO AS MÃOS.	31
FIGURA 7: INTERFACE DO PAINEL DE CONTROLE.	31
FIGURA 8: PRATELEIRA DE FERRAMENTAS.	33
FIGURA 9: INTERFACE DO PAINEL MULTIMÍDIA (ARQUIVO TEXTO).	34
FIGURA 10: TECLADO VIRTUAL.	35
FIGURA 11: EXEMPLO DE CONTORNO EXIBIDO PARA OBJETOS SELECIONADOS.	38
FIGURA 12: INTERFACE DA AÇÃO DE TROCAR COR DE UM OBJETO.	39
FIGURA 13: INTERFACE DA AÇÃO DE ALTERAR DIMENSÕES.	40
FIGURA 14: EXEMPLO DE OCLUSÃO DE UM OBJETO 3D.	41
FIGURA 15: INTERFACE DA AÇÃO REPLICAR OBJETO.	42
FIGURA 16: INTERFACE DA AÇÃO DE RASTREAR OBJETO.	43
FIGURA 17: ETAPA DE CAPACITAÇÃO EM REALIDADE VIRTUAL FONTE: O AUTOR.	45
FIGURA 18: EXEMPLO DE UMA ETAPA DO TUTORIAL.	46
FIGURA 19: META QUEST PRO.	49
FIGURA 20: USUÁRIO NA SALA DO EXPERIMENTO 1 FONTE: O AUTOR	50
FIGURA 21: CAFETEIRA DOLCE GUSTO.	50
FIGURA 22: SUGESTÃO DE PASSO A PASSO DO EXPERIMENTO 1.	51
FIGURA 23: RESUMO DO PERFIL DOS 14 PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO 1.	52
FIGURA 24: EXEMPLO DE CENÁRIOS CRIADOS NO EXPERIMENTO 1.	53
FIGURA 25: RESULTADO DO QUESTIONÁRIO SUS ADAPTADO USADO NO EXPERIMENTO 1.	54
FIGURA 26: RESULTADOS DA PERGUNTA 1 DO QUESTIONÁRIO 2.	55
FIGURA 27: RESULTADOS DA PERGUNTA 2 DO QUESTIONÁRIO 2.	56
FIGURA 28: RESULTADOS DA PERGUNTA 4 DO QUESTIONÁRIO 2.	56
FIGURA 29: SALA DO EXPERIMENTO 2.	57
FIGURA 30: SUGESTÃO DE PASSO A PASSO DO EXPERIMENTO 2.	58
FIGURA 31: MÁQUINA DE CORTE A LASER.	58
FIGURA 32: RESUMO DAS INFORMAÇÕES RELATADAS PELOS 10 PARTICIPANTES NO EXPERIMENTO 2.	59
FIGURA 33: EXEMPLO DE CENÁRIOS CRIADOS NO EXPERIMENTO 2.	60
FIGURA 34: RESULTADO DO QUESTIONÁRIO SUS ADAPTADO USADO NO EXPERIMENTO 2.	61
FIGURA 35: RESULTADOS DA PERGUNTA 1 DO QUESTIONÁRIO 2 NO EXPERIMENTO 2.	62

FIGURA 36: RESULTADOS DA PERGUNTA 2 DO QUESTIONÁRIO 2 NO EXPERIMENTO 2.....	62
FIGURA 37: RESULTADOS DA PERGUNTA 4 DO QUESTIONÁRIO 2 NO EXPERIMENTO 2.....	63
FIGURA 38: EXEMPLOS DE CENAS CRIADAS PELOS PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO 1 (1).	65
FIGURA 39: EXEMPLOS DE CENAS CRIADAS PELOS PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO 1 (2).	66
FIGURA 40: EXEMPLO DE CENA MONTADA POR 2 PARTICIPANTES NO EXPERIMENTO 1.	66
FIGURA 41: EXEMPLO DE CENA BEM ELABORADA POR UM USUÁRIO NO EXPERIMENTO 2.	68
FIGURA 42: EXEMPLO DO USO DA AÇÃO CRIAR GRUPO PARA MONTAR UM OBJETO 3D ESPECÍFICO.	70
FIGURA 43: EXEMPLOS DE CENAS MONTADAS PELOS PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO 2 (1).	72
FIGURA 44: EXEMPLOS DE CENAS MONTADAS PELOS PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO 2 (2).	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: RESUMO DAS FUNCIONALIDADES PRESENTES EM CADA TRABALHO ENCONTRADO.	21
TABELA 2: ÍCONES DAS AÇÕES DISPONÍVEIS NA PRATELEIRA DE FERRAMENTAS.....	36
TABELA 3: PERGUNTAS DO QUESTIONÁRIO SUS ADAPTADAS.	47
TABELA 4: PERGUNTAS DO SEGUNDO QUESTIONÁRIO.	47

SUMÁRIO

1	Introdução	11
2	Fundamentação Teórica	15
3	Trabalhos Relacionados	17
4	Framework Proposto.....	22
4.1	Perfis de usuários.....	22
4.2	Modos de visualização da Aplicação	22
4.3	Sequência de etapas.....	23
4.4	Painel de Controle.....	23
4.5	Interação com objetos virtuais	24
4.5.1	Suporte a arquivos multimídia	24
4.5.2	Ações de Edição.....	25
4.6	Ações de Edição para Realidade Aumentada	25
4.6.1	Ancoragem de Objetos Virtuais	25
4.6.2	Oclusão de Objetos Virtuais	26
4.7	Rastreamento de Mãos	26
4.8	Rastreamento de objetos reais	26
5	Protótipo do Framework.....	28
5.1	Sessões.....	28
5.2	Interação com o Ambiente.....	30
5.3	Painel de Controle.....	31
5.4	Prateleira de ferramentas.....	32
5.5	Objetos	33
5.6	Ações.....	35
5.6.1	Selecionar Objeto	38
5.6.2	Criar Grupo	39
5.6.3	Duplicar Objeto	39
5.6.4	Alterar Cor	39
5.6.5	Alterar Dimensões	40
5.6.6	Definir Objeto Persistente.....	40

5.6.7	Definir Objeto de Oclusão	41
5.6.8	Replicar Objeto	41
5.6.9	Definir Objeto Fixo	42
5.6.10	Alinhar Objeto na Origem	42
5.6.11	Rastrear Objeto	43
6	Estudo com Usuários	44
6.1	Design dos Experimentos	44
6.2	Equipamentos	48
6.3	Experimento 1: Cafeteira.....	49
6.3.1	Participantes	51
6.3.2	Cenário criados durante o Experimento 1	52
6.3.3	Resultados do Experimento 1	53
6.4	Experimento 2: Máquina de corte a LASER	56
6.4.1	Participantes	58
6.4.2	Cenários criados durante o Experimento 2	59
6.4.3	Resultados do Experimento 2	60
7	Discussão dos Resultados.....	64
8	Conclusão	74
	Referências	76
	Apêndice A – Passo a passo – Experimento 1	81
	Apêndice B – Passo a Passo – Experimento 2	82
	Apêndice C – Estrutura de mensagem dos recursos Rastreamento de Objetos	83
	Apêndice D – Aprovação do projeto no CEP	84

1 Introdução

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que permite a inserção de elementos 3D na exibição de ambientes reais através de uma câmera. A Figura 1 apresenta um exemplo de aplicação de Realidade Aumentada, onde um modelo 3D de uma seta é exibido para indicar um objeto real.

As aplicações de Realidade Aumentada voltadas à educação ganharam visibilidade nos últimos anos devido ao fato de suas características proporcionarem um desempenho igual ou superior no processo de aprendizagem em comparação com os métodos tradicionais, como mostram alguns estudos na área (Barsom, Graafland, & Schijven, 2016; Heinz, Buttner, & Rocker, 2019; Munzer, Khan, Shipman, & Mahajan, 2019; Zhu, Lienthal, Shluzas, Masiello, & Zary, 2015) .

Na Medicina, por exemplo, aplicações voltadas ao aprendizado da anatomia humana, como a visualização 3D de imagens de tomografias computadorizadas de partes específicas do corpo, como tronco e cérebro, possuem efetividade na educação equivalentes às formas tradicionais de ensino e uma melhora significativa no interesse e participação dos envolvidos, em especial se for possível sobrepor a imagem ao corpo do próprio paciente (Ma, et al., 2016; Moro, Štromberga, Raikos, & Stirling, 2017; Thomas, John, & Delieu, 2010).



Figura 1: Exemplo De Aplicação Utilizando Realidade Aumentada
Fonte: O autor

Na área da Indústria, por sua vez, existem vários projetos, tanto acadêmicos quanto profissionais, voltados à capacitação para o manuseio de máquinas (Cao, et al., 2020; Heinz, Buttner, & Rocker, 2019). Esses projetos, em geral, possuem um modelo 3D da máquina e outros elementos gráficos como

imagens, vídeo ou animações para auxiliar o aprendiz no treinamento ou manutenção, gerando um ganho na efetividade e acurácia da tarefa junto com uma maior compreensão do processo pelo aprendiz (Bottani & Vignali, 2019).

Nesta área, conhecida como Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO) (Sharma & Villányi, 2022), o usuário pode utilizar um capacete ou uma câmera que capta as imagens do mundo real e sobre estas imagens inserem-se elementos 3D como uma chave de fenda ou um alicate em seu campo de visão, podendo passar instruções de qual ferramenta utilizar ou onde aplica-la (Bhattacharya & H. Winer, 2019; Cassola, et al., 2021; Marques, Silva, Rocha, Dias, & Santos, 2021).

Mesmo que haja um grande interesse em aplicações de treinamento para processos manuais, evidenciado pelas diversas aplicações de RA desenvolvidas para este fim (Rahman, Mahmud, & Mashuk, 2013; Yuan, Xu, Zhou, & Li, 2023; Linn, Bender, Prosser, Schmitt, & Werth, 2017; Cassola, et al., 2021; Carruth, 2017), a criação destas aplicações apresenta alguns problemas:

- **Falta de ferramentas genéricas:** embora existam similaridades entre as aplicações, em especial a existência de um roteiro de atividades que devem ser cumpridas, a utilização de ferramentas e a necessidade de acionamento de chaves e botões, os projetos são focados apenas em sua área de interesse, não oferecendo uma forma eficiente de gerar conteúdo para outras áreas;
- **Necessidade de Programação:** o desenvolvimento é realizado de forma ad-hoc, baseado em programação, o que inibe este desenvolvimento por parte de especialistas do domínio;
- **Utilização de Ferramentas 2D:** embora os processos manuais sejam executados em 3D, sua criação é, em geral, feita em editores 2D, dificultando que o desenvolvimento da aplicação seja feito no local do treinamento.

Editores 2D permitem a criação de ambientes de treinamento sem exigir conhecimento de programação por parte do especialista. Contudo, utilizar mouse e teclado para posicionar objetos 3D ao redor de objetos reais pode ser uma tarefa difícil se as técnicas de interação não forem implementadas corretamente. Ações simples como rotacionar e posicionar uma seta 3D para apontar em algum

local de interesse pode exigir do especialista utilizar vários comandos e atalhos que sobrecarregam o processo de criação do treinamento.

Utilizar uma abordagem imersiva na elaboração dos treinamentos possibilita a criação de tarefas com modelos 3D específicos do problema ou objetos primitivos para construir representações simples sobre o objeto real. Com uma interação simples e natural, posicionando os elementos com controles nos locais corretos, o processo de criação se tornará mais fácil para o especialista, que não precisaram ter conhecimentos de programação, e não exigirá muito conhecimentos do aprendiz que irá usar a aplicação.

Com base neste cenário, este trabalho definiu um framework para a criação de treinamento de tarefas manuais em um ambiente imersivo de Realidade Virtual e Aumentada. Nesse ambiente, o especialista poderá criar sessões de treinamento referentes a qualquer assunto de interesse e inserir elementos virtuais no cenário ou em torno do objeto alvo para guiar o aprendiz a completar a tarefa.

Nossa questão de pesquisa será:

Que recursos devem compor uma aplicação imersiva voltada à criação de treinamentos para a execução de tarefas manuais, considerando usuários sem especialização em Realidade Virtual e Aumentada?

Para responder essa questão, foram realizadas as seguintes atividades:

- Levantamento bibliográfico para identificar os elementos existentes em ferramentas com o mesmo objetivo;
- Desenvolvimento de um framework contendo os recursos identificados na literatura;
- Realização de testes com usuários a fim de validar o framework e avaliar qual a percepção do usuário com o processo de criação de treinamentos em RA/RV.

Durante a realização deste trabalho foi publicado o artigo "Immersive Modeling Framework for Training Applications" (Chrisosthemos T., S. Mantovani, Cardoso, dos Santos, & S. Pinho, 2023), apresentando as funcionalidades escolhidas e a implementação do framework. O artigo ainda apresenta uma

aplicação de treinamento foi criada, usando uma Máquina de Teste Universal, para demonstrar as capacidades do framework

Este texto está organizado conforme segue. O capítulo 2 apresentam alguns conceitos básicos de Realidade Virtual e Aumentada. O capítulo 3 sumariza as funcionalidades escolhidas para compor o framework, com base em trabalhos encontrados sobre o tema. O capítulo 4 aprofunda as funcionalidades, mostrando alguns incrementos que devem ser feitos para o uso adequado da funcionalidade. O capítulo 5 mostra como as funcionalidades foram implementadas em um protótipo imersivo. O capítulo 6 descreve os testes feitos com usuário para entender sua percepção do framework. O capítulo 7 exhibe e discute os resultados obtidos com os testes. Finalmente, o capítulo 8 conclui o texto, resumindo o trabalho feito e os resultados obtidos.

2 Fundamentação Teórica

A Realidade Virtual, segundo Tori e Kirner (Tori & Kirner, 2006), é uma interface avançada de computador que permite a interação do usuário com um ambiente e elementos virtuais. Essa tecnologia permite a interação do usuário com objetos virtuais idênticos a objetos reais, simulando sua aparência e comportamento, e por isso é bastante utilizada na área de treinamentos. Um exemplo de ambiente virtual é mostrado na Figura 2.

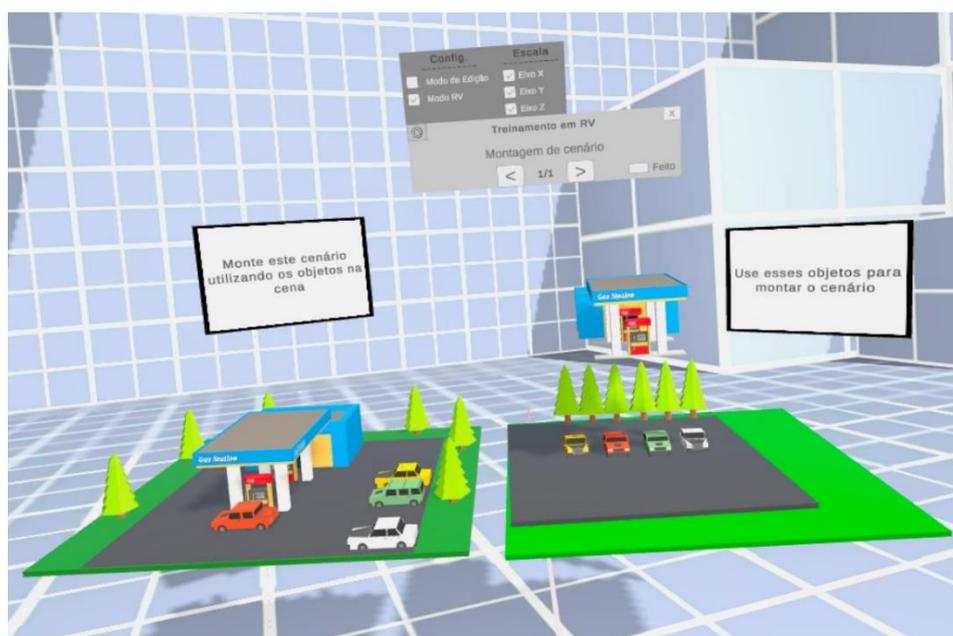


Figura 2: Exemplo de ambiente virtual.

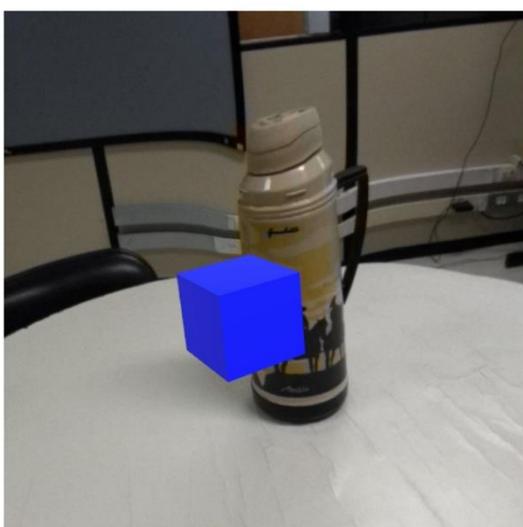
Fonte: O autor

Há vários benefícios em se utilizar uma aplicação de treinamento em RV. Um dos mais atrativos é a redução de gastos e riscos envolvendo o treinamento em locais específicos, onde está o objeto ou equipamento a ser ensinado, ou locais com risco de vida. Outra vantagem é o engajamento gerado pelas aplicações, que estimula os usuários a interagirem com os elementos virtuais e, como resultado, fixando melhor os conceitos ensinados. Porém, isso exige um modelo 3D bem feito do objeto ou ambiente real, o que muitas vezes pode não ser acessível. Nestes casos, o uso de Realidade Aumentada pode auxiliar no processo, pois permite a visualização do objeto real e utiliza os elementos virtuais como guia do treinamento.

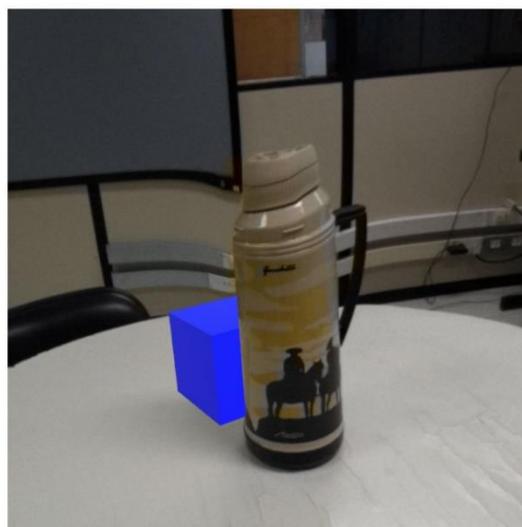
Segundo Schmalstieg (Schmalstieg & Hollerer, 2016), Realidade Aumentada é uma tecnologia que combina a visão de um usuário do mundo real

com imagens digitais, com o objetivo de aprimorar o entendimento do usuário sobre este mundo. Para que seja possível obter um sistema de RA realmente útil, as imagens digitais devem estar registradas ao mundo real de forma adequada, respeitando a posição dos objetos reais, bem como eventuais oclusões geradas pelo posicionamento das imagens no entorno de objetos reais, além de permitir interação em tempo real por parte do usuário (Azuma, 1997).

O registro de um objeto se refere ao ajuste da posição, rotação e escala do objeto no ambiente real. A Figura 3 exibe um exemplo deste conceito. Nela, o cubo azul está posicionado em cima da mesa e ao lado da térmica. Porém, apenas o registro não serve para passar a impressão da coexistência do objeto virtual no ambiente real, pois o cubo sempre está desenhado sobre os objetos reais na imagem. Com a oclusão, apenas as partes visíveis do objeto virtual são renderizadas para o observador da cena, dando a noção de posição do objeto no espaço.



Registro sem Oclusão



Registro com Oclusão

Figura 3: Exemplo de Registro sem e com Oclusão de objetos virtuais.

Fonte: O autor

Na área específica de treinamento, a RA pode facilitar a maior parte do processo de aprendizagem exibindo informações úteis no campo de visão do usuário conforme ele vai avançando nas etapas do processo. Para tanto, podem ser exibidas as peças ou ferramentas que devem ser usadas, os locais onde estas devem ser encaixadas ou retiradas, além de animações que demonstrem como realizar os procedimentos etc.

3 Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta um levantamento bibliográfico realizado com o objetivo de identificar as principais características e requisitos dos sistemas de treinamento baseados em Realidade Virtual e Aumentada.

Para a busca, foi utilizada a string de busca “Training AND Authoring AND (Augmented Reality OR Virtual Reality)”, com a janela temporal de 2016 a 2023 nos bancos de dados IEEE e ACM.

Ao todo, foram encontrados 143 resultados. Após a leitura título e do abstract, foram selecionados 19 artigos que se encaixavam com a proposta do trabalho, ou seja, trabalhos envolvendo aplicações de treinamento em RV ou RA.

A ideia de **interação com objetos 3D** está presente em todos os trabalhos. Essa função é essencial não apenas para interagir com a interface do sistema, mas também para encorajar o usuário a explorar o ambiente virtual e interagir com os elementos da cena, aumentando a atenção e engajamento com a aplicação (Agati, Bauer, Hounsell, & Paterno, 2020). A maioria das aplicações encontradas combinam o uso de controles e rastreamento de mãos para interagir com o sistema,

O uso dos controles permite uma interação mais precisa com os objetos virtuais, facilitando as tarefas de posicionamento dos elementos na cena. O trabalho de Cassola (Cassola, et al., 2021), por exemplo, utiliza controles para montar um treinamento em RV. A aplicação desenvolvida permite o usuário gravar uma demonstração, extrair instruções com base nas ações e ajustar os elementos gerados, em um processo de refinamento. Essa abordagem torna a tarefa de criação da cena virtual menos cansativa, já que os movimentos necessários para posicionar os objetos são simplificados pela manipulação do controle e a ajuda de gatilhos para sinalizar as ações de agarrar e soltar o objeto.

Contudo, usar controles para interagir com uma aplicação em Realidade Aumentada impede o usuário de adquirir um conhecimento mais prático da ação que está sendo ensinada, pois as mãos estão ocupadas. Esse conhecimento é adquirido mais facilmente quando o usuário pode interagir com o objeto real enquanto utiliza a aplicação de treinamento. Para manter esse ganho, as aplicações também implementam o **rastreamento de mãos** (Yuan, Xu, Zhou, &

Li, 2023) (Yigitbas, Heindörfer, & Engels, 2019) (Cannavò, Praticò, Ministeri, & Lamberti, 2018) (Koutitas, et al., 2019) (Cai, et al., 2022) (Blattgerste, Renner, & Pfeiffer, 2019) (Winther, Ravindran, Svendsen, & Feuchtner, 2020) (Ortega-Moody, Islas, Howell, Jenab, & Russ, 2021) (An, et al., 2019). Um exemplo desse elemento é o trabalho de Stanescu (Stanescu, Mohr, Schmalstieg, & Kalkofen, 2022), que cria instruções de montagem/desmontagem com base em uma demonstração apenas utilizando as mãos. Neste trabalho, uma reconstrução 3D do objeto real é feita identificando as diferenças entre uma reconstrução e outra dentro de um intervalo do vídeo gravado. Assim, com base nessas diferenças, a instrução é criada, exibida e trocada conforme o usuário interage com o objeto real.

Outro ponto importante nestas aplicações é forma que um especialista tem para criar um treinamento. A maioria dos trabalhos são aplicações, construídas para algum propósito específico que vão de treinamento de bombeiros em uma ambulância de grande porte (Ambulance Bus) (Koutitas, et al., 2019) até religadores em um circuito aéreo de distribuição (Bastos, et al., 2021). Esse tipo de aplicação é criada incluindo modelos 3D pré-estabelecidos dentro do sistema, restringindo a área de possíveis treinamentos para apenas as que usarem os modelos selecionados. Neste sentido, utilizar um método de **importação de objetos** customizados, junto com formas de posicionar os elementos na cena, cria a possibilidade de construir treinamentos para diversas outras áreas.

Além de modelos 3D as aplicações de treinamento podem incluir **arquivos multimídia**, aproveitando materiais didáticos preparados previamente, como manuais em texto, imagens demonstrativas e vídeos de tutorial. Presente em algumas das aplicações estudadas (Gangabissoon, Bekaroo, & Moedeen, 2020) (Mostajeran, Steinicke, Ariza Nunez, Gatsios, & Fotiadis, 2020) (Bastos, et al., 2021) (Heinz, Buttner, & Rocker, 2019) (Cassola, et al., 2021), essa função permite o especialista preparar um conteúdo auxiliar em ferramentas apropriadas, com uma representação do objetos real em um modelo 3D ou um vídeo guia, e exibi-lo de forma apropriada no treinamento.

Outro recurso bastante utilizado é a exibição do treinamento em uma **sequência de etapas**. Esse método permite quebrar uma tarefa grandes em pequenas ações de fácil compreensão e de execução, melhorando o

aprendizado do aprendiz e se demonstrou presente em várias das aplicações (Bhattacharya & H. Winer, 2019) (Blattgerste, Renner, & Pfeiffer, 2019) (Jeon, Han, Jo, & Han, 2019) (Bastos, et al., 2021) (Winther, Ravindran, Svendsen, & Feuchtner, 2020) (Ortega-Moody, Islas, Howell, Jenab, & Russ, 2021) (Sim, Chook, Hakim, Lim, & Yap, 2019) (Heinz, Buttner, & Rocker, 2019) (Cassola, et al., 2021) (Stanescu, Mohr, Schmalstieg, & Kalkofen, 2022) (An, et al., 2019). No trabalho de Winther (Winther, Ravindran, Svendsen, & Feuchtner, 2020), por exemplo, um treinamento de manutenção de bombas d'água em RV, a transição entre etapas é feita de forma automática. O usuário inicia o treinamento visualizando uma instrução e realiza a ação solicitada. Assim que a ação for finalizada, o sistema passa para a próxima etapa, automaticamente após a detecção da ação feita, e o objeto é atualizando para o novo estado.

Outra abordagem é permitir que o próprio usuário passe de etapa, como feito no trabalho de Sim (Sim, Chook, Hakim, Lim, & Yap, 2019), no qual uma aplicação de treinamento de segurança no local de trabalho em RV foi implementada. Nela, o usuário passa por cada instrução manualmente usando um controle. Isso permite que o aprendiz adote o seu próprio ritmo de treinamento e pode executar novamente uma etapa, se desejar.

Além da sequência de etapas, outro elemento interessante quando se está fazendo um treinamento em Realidade Aumentada é visualizar as mudanças do mundo real no virtual. Isso torna o processo de aprendizado mais imersivo e permite passar informações úteis para o usuário durante o manuseio do objeto, assim como feedback em tempo real da ação. Essa função será chamada de **rastreamento de objetos reais** e está presente em algumas as aplicações encontradas (Bhattacharya & H. Winer, 2019) (Cecil, Gupta, Pirela-Cruz, & Ramanathan, 2018) (Cannavò, Praticò, Ministeri, & Lamberti, 2018) (Agrawal & Pillai, 2020). Um exemplo de rastreamento pode ser encontrado no trabalho de Cannavò (Cannavò, Praticò, Ministeri, & Lamberti, 2018), um sistema para análise de movimento em treinamento de esporte usando Realidade Virtual. O sistema rastreia um dispositivo que é vestido pelo usuário e solicitado para fazer uma ação específica. Durante a ação, os dados do dispositivo são lidos e a análise do movimento é feita em tempo real, informando se o movimento está correto ou errado.

O aspecto relevante identificado em na análise da literatura é forma em que os trabalhos exibem o treinamento na aplicação, podendo ser em Realidade Virtual ou Aumentada. Nas aplicações de RV, o aprendiz que irá usar o treinamento não precisa estar no mesmo local que o objeto/equipamento alvo que irá estudar, resultando em uma maior praticidade, economia de recursos e até mesmo segurança em casos de treinamento em locais de risco, aspecto importante é adotado por empresas que usam treinamento em RV (Cardoso, Mariano, & Zorzal, 2020). Já na visualização em RA, exige que o aprendiz esteja no local do equipamento, porém, o aprendizado sobre a ação que deve ser feita é mais próximo da experiência real, pois está havendo uma interação física com o objeto durante o treinamento, o que ajuda a fixar melhor a tarefa e gera uma experiência mais realista para o aprendiz. Sendo assim, permitir um mecanismo para trocar o **modo de visualização** do treinamento, podendo ser em RA ou RV, aumenta a alcance de possíveis aplicações que podem ser feitas.

Com isso, as funcionalidades consideradas essenciais para um framework de criação de treinamentos usando RA foram:

1. Interação com objetos virtuais;
2. Perfis de usuário;
3. Definição de uma sequência de etapas;
4. Rastreamentos de Mãos;
5. Rastreamento de objetos reais;
6. Suporte a arquivos multimídia;
7. Modos de visualização em RV e RA.

A Tabela 1 exhibe todos os trabalhos considerados na pesquisa e sinaliza quais funcionalidades estão presentes em cada um deles.

O Capítulo 4 irá discutir mais a fundo cada uma destas funcionalidades, mostrando aspectos importantes que devem ser considerados na implementação e na criação de treinamentos.

Tabela 1: Resumo das funcionalidades presentes em cada trabalho encontrado.

Trabalhos	Funcionalidades						
	1	2	3	4	5	6	7
(Bhattacharya & H. Winer, 2019) Augmented reality via expert demonstration authoring (AREDA)	■		■		■		
(Cassola, et al., 2021) A Novel Tool for Immersive Authoring of Experiential Learning in Virtual Reality	■	■	■	■		■	
(Yuan, Xu, Zhou, & Li, 2023) Design and Application of A Maintenance Training System based on Virtual Reality	■			■			
(Yigitbas, Heindörfer, & Engels, 2019) A Context-Aware Virtual Reality First Aid Training Application	■		■	■			
(Cannavò, Praticò, Ministeri, & Lamberti, 2018) A Movement Analysis System Based on Immersive Virtual Reality and Wearable Technology for Sport Training	■			■	■		
(Koutitas, et al., 2019) A Virtual and Augmented Reality Platform for the Training of First Responders of the Ambulance Bus	■			■			
(Cai, et al., 2022) Augmented Reality Based Surgical Training and Education System for Neurosurgery	■			■			
(Blattgerste, Renner, & Pfeiffer, 2019) Authorable Augmented Reality Instructions for Assistance and Training in Work Environments	■		■				
(Winther, Ravindran, Svendsen, & Feuchtner, 2020) Design and Evaluation of a VR Training Simulation for Pump Maintenance	■		■	■			
(Ortega-Moody, Islas, Howell, Jenab, & Russ, 2021) Design of A Virtual Reality Scenario and Scent Generator for Sensory Training	■		■	■			
(An, et al., 2019) Development of Chemical Incident Response Training Program by Applying Virtual Reality Technology	■		■	■			
(Stanescu, Mohr, Schmalstieg, & Kalkofen, 2022) Model-Free Authoring by Demonstration of Assembly Instructions in Augmented Reality	■	■	■	■			
(Bastos, et al., 2021) Copelia: Wearable Augmented Reality Application for Training and Maintenance of Reclosers	■		■			■	
(Gangabissoon, Bekaroo, & Moedeen, 2020) Application of Augmented Reality in Aviation: Improving Engagement of Cabin Crew during Emergency Procedures Training	■					■	
(Heinz, Buttner, & Rocker, 2019) Exploring Training Modes for Industrial Augmented Reality Learning	■		■			■	
(Jeon, Han, Jo, & Han, 2019) Being More Focused and Engaged in Firefighting Training: Applying User-Centered Design to VR System Development	■		■				
(Sim, Chook, Hakim, Lim, & Yap, 2019) Design of Virtual Reality Simulation-based Safety Training Workshop	■		■				
(Cecil, Gupta, Pirela-Cruz, & Ramanathan, 2018) A Network-Based Virtual Reality Simulation Training Approach for Orthopedic Surgery	■				■		
(Agrawal & Pillai, 2020) Augmented Reality Application in Vocational Education: A Case of Welding Training	■				■		

4 Framework Proposto

Este capítulo descreve conceitualmente os requisitos levantados na revisão bibliográfica apresentada no capítulo 3 a fim de propor um framework para a criação de treinamentos de tarefas manuais usando Realidade Virtual e Aumentada por especialistas de domínio, sem demandar um extenso conhecimento destas tecnologias. Os requisitos foram adaptados para funcionar em qualquer contexto de treinamento envolvendo alguma atividade manual. Cada uma delas é descrita a seguir.

4.1 Perfis de usuários

Uma aplicação de treinamento com RV/RA precisa ter, pelo menos, dois perfis de usuário, conforme identificado nos trabalhos de Cassola (Cassola, et al., 2021) e Stanescu (Stanescu, Mohr, Schmalstieg, & Kalkofen, 2022).

O primeiro perfil é o do especialista de domínio, também chamado de instrutor, que irá montar o treinamento. Este modo permitirá as opções para gerenciar as etapas do treinamento, como adicionar, remover e alterar uma etapa, e alterar o conjunto de objetos virtuais atribuídos a cada etapa. O especialista também poderá adicionar os objetos virtuais na cena, modificar sua posição e aparência e excluí-los da cena. O método utilizado para alterar a aparência e comportamento do objeto será feito com as Ações.

O segundo é o perfil de usuário ou aprendiz, que irá apenas usar o treinamento. Para esse modo, o usuário precisará apenas poder passar de etapa e mudar os modos de operação e visualização (sessão 4.2).

4.2 Modos de visualização da Aplicação

O modo de visualização está presente no framework para permitir a criação do treinamento em caso que o aprendiz tem acesso ao objeto ou ambiente real e quando não possui esse acesso. O modo de visualização em RA permite o especialista usar ações voltadas a essa tecnologia, como a ação de oclusão. Essa ação é desabilitada ao trocar para o modo de RV.

O modo de visualização em RV instancia um cenário virtual no campo de visão do usuário. Desta forma, durante o treinamento, o usuário estará mais

atento ao treinamento e não se distrairá com objetos do mundo real. A movimentação no ambiente virtual é feita com o rastreamento da posição do capacete utilizado, não permitindo o usuário se mover pela cena usando o controle. Isso é feito para não perder ancoragem do mundo virtual com o real.

4.3 Sequência de etapas

Um treinamento precisa ter uma estrutura simples para que possa ser construída por especialista sem muito conhecimento em RV e RA. Para isso, o treinamento foi estruturado usando o conceito de sequência de etapas, conforme os trabalhos de Sim (Sim, Chook, Hakim, Lim, & Yap, 2019) e Bhattacharya (Bhattacharya & H. Winer, 2019). Essa estrutura foi escolhida pois se utiliza de uma estratégia bem conhecida na resolução de problemas complexos e ainda facilita o entendimento do aprendiz, que poderá gastar o tempo necessário em cada etapa para entender os conceitos e executar a ação solicitada.

No framework, uma etapa é uma cena 3D exibida para o usuário, composta por um conjunto de objetos virtuais posicionados no ambiente (real ou virtual), pelo especialista, para mostrar o local de algum ponto de interesse ou alguma informação pertinente ao treinamento. Cada etapa tem como objetivo guiar o aprendiz a executar algum processo da tarefa, seja para aprender algum conceito ou aprender a executar uma ação manual.

4.4 Painel de Controle

Para acessar funções descritas até aqui, foi definida uma interface chamada **Painel de Controle**, que se assemelha a uma janela de configuração de uma aplicação 2D. A fim de evitar oclusões, a interface do Painel de Controle pode ser movimentada livremente e permanece visível em todas as etapas.

Esse painel contém as seguintes funções:

- Sair da aplicação;
- Avançar e retroceder nas etapas;
- Adicionar e remover etapas;
- Trocar descrição de uma etapa;
- Exibir abas de configuração;
- Trocar modo de execução;

- Trocar modo de visualização;

4.5 Interação com objetos virtuais

A interação com os elementos 3D em uma aplicação de RV/RA tem sido tradicionalmente realizada com controles, como se pode observar nos trabalhos de Cassola (Cassola, et al., 2021), Koutitas (Koutitas, et al., 2019) e Jeon (Jeon, Han, Jo, & Han, 2019). Este tipo de recurso permite que o usuário tenha mais precisão em seus movimentos e acesso fácil a menus e opções. Em nosso contexto, estas características são fundamentais durante a criação dos cenários de treinamento pois o instrutor deve poder posicionar um objeto virtual em um local do mundo real, a fim de sinalizar alguma ação que deve ser executada pelo aprendiz. O uso de controle também diminui a fadiga durante a montagem do cenário, pois exige menos movimentos da mão e com auxílio dos botões para agarrar e soltar os objetos.

Entretanto, durante a execução de um treinamento, o aprendiz precisa ter a possibilidade de executar a ação solicitada no objeto alvo durante a visualização da etapa. Isso permite ao aprendiz aproximar o conhecimento adquirido com a experiência real de manusear o objeto/equipamento em questão. Para isso, será utilizada também o rastreamento de mão, assim como feito nos trabalhos de Cai (Cai, et al., 2022), Koutitas (Koutitas, et al., 2019) e Winther (Winther, Ravindran, Svendsen, & Feuchtner, 2020).

4.5.1 Suporte a arquivos multimídia

Cassola (Cassola, et al., 2021) ressalta a importância de poder utilizar conteúdo didático pronto para auxiliar em treinamentos com RV e RA. Manuais em texto, imagens demonstrativas, vídeo como demonstrações e modelos 3D pode facilitar o trabalho do especialista na montagem do treinamento, pois podem ser criadas em ferramentas apropriadas e depois importados para a aplicação imersiva. Para isso, foi definida a utilização de **painéis** que permitem exibir conteúdo de texto, imagens e vídeos, tendo cada painel uma interface própria para gerenciar seu conteúdo. No caso de vídeos a interface deve permitir iniciar e pausar e no caso de painéis de texto, um teclado virtual será usado para permitir a entrada de texto customizado e de fácil acesso.

4.5.2 Ações de Edição

A fim de permitir várias formas de criação de um treinamento, como a reconstrução do ambiente real no virtual, a criação de exemplos visuais usando objetos virtuais, entre outros recursos comuns e ferramentas de modelagem 3D, o especialista precisará ter a disposição um conjunto de ferramentas para modelagem. Essas ferramentas devem ser abrangentes o bastante para permitir o instrutor usar diferentes abordagem de ensino.

Na revisão da literatura, foram identificadas ações comuns de sistemas de modelagem 3D como: duplicar, alterar o tamanho e trocar a cor de um objeto virtual; manter um objeto virtual entre uma etapa e outra; manter um objeto fixo na cena; selecionar e criar grupos de objetos.

4.6 Ações de Edição para Realidade Aumentada

Como o framework se propõe a permitir a criação de aplicação em RA, além de ferramentas de modelagem 3D, é necessário incorporar também as ações que deem suporte à **oclusão** de objetos virtuais por reais, bem como o **registro/ancoragem** de objetos virtuais em locais específicos do mundo real.

4.6.1 Ancoragem de Objetos Virtuais

Para que o aprendiz consiga visualizar os objetos virtuais na mesma posição em que o especialista os deixou, um método de alinhamento da cena virtual com o mundo real precisa ser usado. Grande parte dos trabalhos analisados que utilizam Realidade Aumentada usam marcadores para alinhar a cena ou objetos virtuais (Gangabissoon, Bekaroo, & Moedeen, 2020) (Agrawal & Pillai, 2020) (Cai, et al., 2022) (Heinz, Buttner, & Rocker, 2019). Entretanto, a utilização de marcadores para alinhar objetos virtuais pode ser um problema em ambientes com muita iluminação, fazendo com que o marcador reflita parte da luz e não consiga ser rastreado.

A fim de suprir esta deficiência dos métodos baseados em marcadores, será usado um método manual de posicionamento usando o controle 3D, através do qual o usuário posiciona o controle “encaixando-o” em pontos específicos do mundo real. Entretanto, como o controle tem muitas superfícies curvas, e é comum a necessidade de um posicionamento preciso de objetos virtuais em

relação a objetos reais, foi construído um dispositivo de acoplamento do controle em superfícies plana. Este dispositivo é encaixado no controle e posicionado em alguma superfície do mundo real. Como a posição do controle e conhecendo as dimensões do dispositivo, a origem da cena virtual pode ser alinhada de acordo com a superfície em contato.

4.6.2 Oclusão de Objetos Virtuais

Para que um objeto virtual passe a impressão de coexistência com o mundo real, é necessário que este objeto tenha apenas as partes visíveis sendo renderizadas para o usuário, passando assim a noção de posição do objeto virtual referente ao ambiente real. Essa propriedade é feita usando uma ação de definir um objeto como sendo de oclusão. Essa função pode ser aplicada apenas no modo de visualização em RA.

4.7 Rastreamento de Mãos

Para possibilitar a interação do aprendiz com o treinamento sem a necessidade de controles, será possível utilizar o rastreamento de mãos para esse perfil de usuário. Desta forma, o aprendiz pode executar o treinamento com as mãos livres, enquanto recebe a instrução da ação que deve ser executada. A interação é feita usando o mesmo raio do controle, só que agora partindo do dedo indicador da mão direita. Para selecionar um botão, o usuário faz uma pose de “pinça” com a mão.

4.8 Rastreamento de objetos reais

Durante uma sessão de treinamento, poder rastrear o estado de um objeto real pode melhorar o entendimento do aprendiz sobre o treinamento, assim como auxiliá-lo por meio de feedbacks durante a execução da ação, como visto nos trabalhos analisados (Bhattacharya & H. Winer, 2019) (Cannavò, Praticò, Ministeri, & Lamberti, 2018) (Cecil, Gupta, Pirela-Cruz, & Ramanathan, 2018) (Agrawal & Pillai, 2020).

Porém, criar um framework com um detector de objeto próprio restringiria a funcionalidade para apenas os objetos usados para treinar o detector. Por isso, o framework permite alterar o estado de objetos virtuais durante uma sessão de treinamento. Essas alterações poderão ser feitas através de mensagens

enviadas por uma rede local, informando o identificador dos objetos e qual propriedade se deseja alterar.

Com isso, o especialista que possui um detector de um grupo de objetos específicos pode usá-lo em conjunto com o framework, fazendo um sistema que rastreia o objeto real e atualiza o estado de sua representação virtual dentro da aplicação de treinamento.

5 Protótipo do Framework

Este capítulo descreve a implementação do protótipo desenvolvido para avaliar o framework proposto. O protótipo foi desenvolvido na linguagem C#, usando o editor gráfico multiplataforma Unity Engine 2021. Foi utilizado o Oculus Integration para acessar o filtro Passthrough de Realidade Aumentada do capacete Meta Quest Pro¹ e dois controles de mão. Os botões relevantes do controle são exibidos na Figura 4.



Figura 4: Botões utilizados do controle do Meta Quest Pro.

Fonte: O autor

5.1 Sessões

A fim de permitir a criação de várias aplicações de treinamento sem a necessidade de alterar o código do sistema, foi criado o conceito de Sessão. Uma sessão representa uma aplicação de treinamento, na qual o especialista pode criar, editar e salvá-las de forma remota ou localmente.

As sessões foram implementadas como um conjunto de etapas e objetos virtuais posicionados em um cenário 3D imersivo. Por se tratar de uma ferramenta de realidade aumentada, é preciso que os objetos virtuais sejam

¹ O protótipo também funciona para o Quest 2 e, com algumas modificações, para qualquer capacete compatível com a ferramenta Unity 3D.

exibidos sempre no mesmo lugar em relação aos objetos reais quando a sessão for reaberta, um processo de alinhamento da cena virtual com o ambiente real deve ser feito. Esse processo é chamado de Ancoragem ou Registro.

A ancoragem é um processo de alinhamento do mundo virtual com o real. Esse processo possibilita o especialista posicionar um objeto virtual em uma posição específica no ambiente real e, quando o aprendiz iniciar a sessão, o objeto apareça nesta na mesma posição. A implementação desse processo foi feita usando o componente SpatialAnchor, disponível no asset Oculus Integration. Esse componente permite definir um ponto no espaço real que será rastreado e salvo pelo capacete para ser utilizado posteriormente.

O processo consiste em o usuário posicionar o controle direito no local do mundo real em que deseja estabelecer a nova origem da cena virtual e apertar o gatilho superior do controle. Feito isso, a posição e orientação do controle é gravada e usada como origem da cena, reposicionando todos os objetos com relação a esse ponto.

Em aplicações de Realidade Aumentada, é comum ser necessário alinhar um modelo 3D com seu respectivo objeto real. Para suprir essa necessidade, foi usado um método de alinhamento usando um suporte para o controle direito. Esse suporte, mostrado na Figura 5, é encaixado no controle e usado para posicionar a origem da cena. Dessa forma, o usuário pode definir uma origem em uma superfície reta e usar ações de alinhamento na origem, explicado mais a diante, para posicionar um modelo 3D na mesma posição e orientação de um objeto real.



Figura 5: Suporte de alinhamento do controle.
Fonte: O autor

5.2 Interação com o Ambiente

Para o perfil do especialista, a interação com o ambiente virtual é feita usando dois controles do Meta Quest Pro. A interação se baseia na técnica de Raycast (Bolt, 1980), criando um raio que inicia na ponta do controle e intersecta o primeiro elemento a sua frente. Para movimentar e rotacionar o objeto, o usuário aponta o raio para o objeto e pressiona o gatilho superior. Nesse processo, o objeto começa a acompanhar o movimento do controle, permitindo que o usuário o posicione conforme o movimento da sua mão. Para largar o objeto, o usuário solta o gatilho.

Para o perfil do aprendiz, como já discutido na sessão 4.6, pode ser necessária a interação com objetos reais durante o uso do treinamento. Para isso, a ferramenta também permite a interação usando apenas as mãos. Neste caso, a seleção de objetos é feita também com um raio saindo da ponta das mãos e colidindo com o primeiro objeto a sua frente. Para disparar o evento de confirmação, o usuário faz uma pose de “pinça” com a mão, confirmando a seleção do objeto. Para passar de etapa, o usuário pode fazer um sinal de “positivo” com a mão, iniciando um timer de 0.75 segundos que, ao acabar, passa para a próxima etapa. Esse processo é exemplificado na Figura 6.

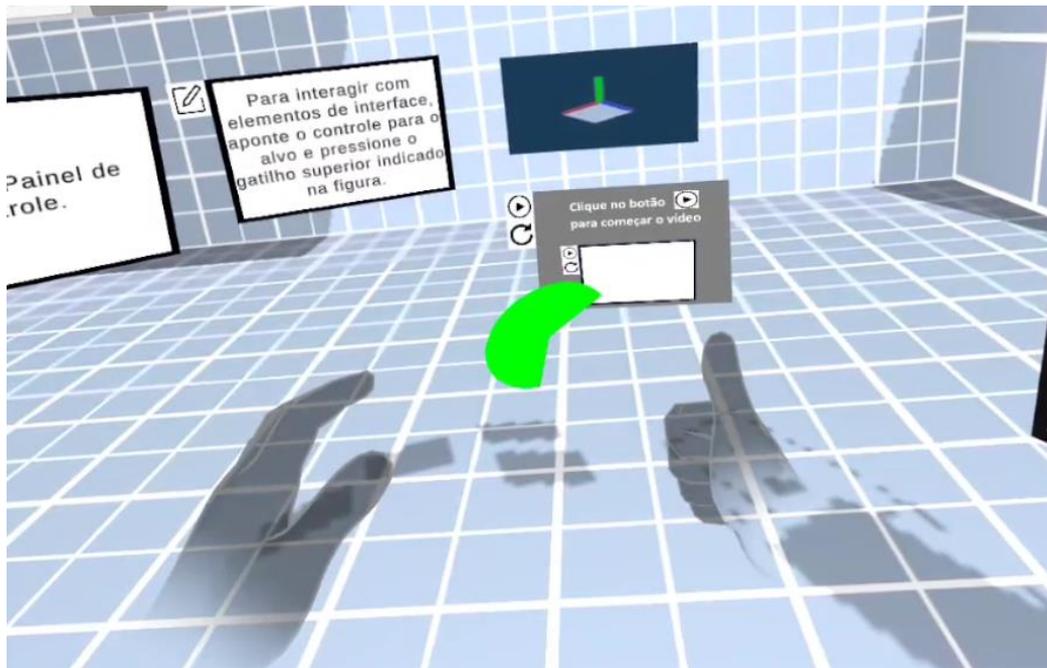


Figura 6: Procedimento para passar de etapa usando as mãos.
 Fonte: O autor

5.3 Painel de Controle

Com o objetivo de permitir a configuração de características do ambiente virtual como um todo, existe um **Painel de Controle**, apresentado na Figura 7.



Figura 7: Interface do Painel de Controle.
 Fonte: O autor

A área 1 do painel é a interface exibida inicialmente para o usuário, assim que o mesmo entra na sessão. Através dela, é possível navegar pelas etapas, voltar ao gerenciamento de sessões ou abrir as abas de controle (áreas 2,3,4 da

Figura 7) usando o botão de engrenagem. Essas abas possuem comandos para ligar/desligar certos comportamentos da ferramenta.

A aba de Configuração (área 2) permite trocar o modo de operação da ferramenta, entre execução (modo padrão) e edição (ativando o checkbox). No modo de execução, destinado ao aprendiz, o usuário possui acesso a apenas botões da interface, como ligar o modo de edição, passar de etapa e fechar a sessão. Já o modo de edição, destinado ao instrutor, é possível adicionar, remover e alterar uma etapa, assim como ter acesso à Prateleira de Ferramentas, explica na sessão 5.4.

Outra opção desta aba é o **modo de visualização**, podendo ser em Realidade Aumentada (padrão) ou Realidade Virtual. A visualização em RA permite o especialista montar o treinamento usando o ambiente real como referência, tornando o treinamento mais próximo de uma situação real. Porém, quando o usuário não possui acesso ao ambiente real do treinamento, pode-se usar a visualização em RV, na qual um ambiente virtual é inserido no campo de visão do usuário para auxiliar o foco nas instruções dos objetos virtuais.

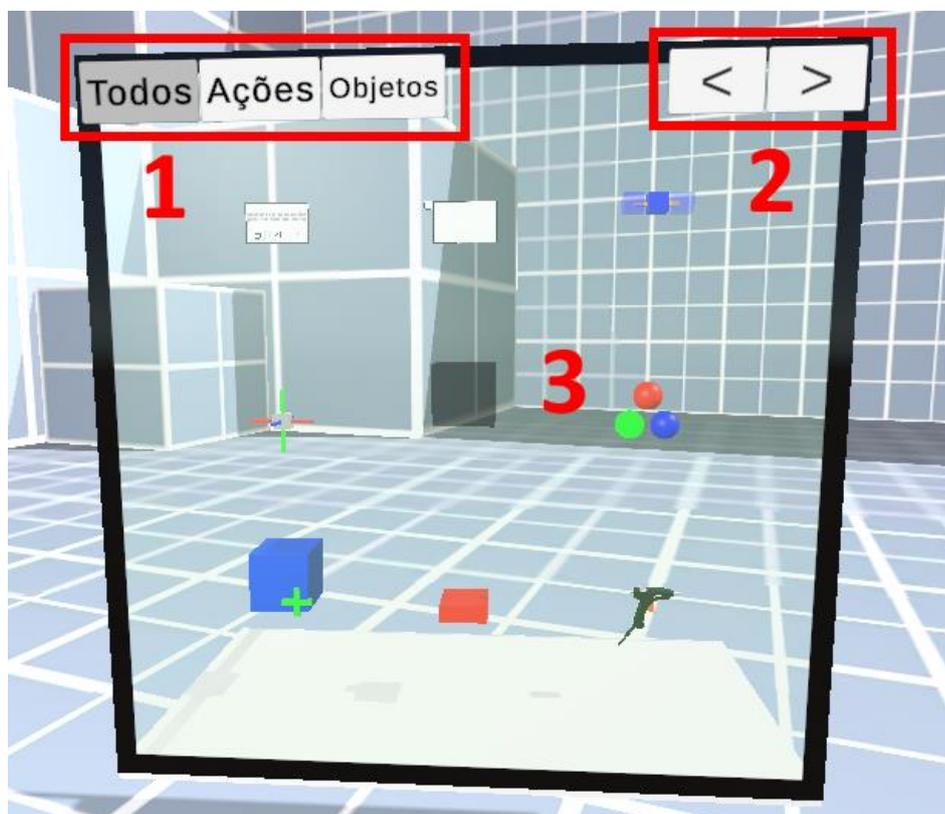
A aba de Escala (área 3) permite selecionar quais eixos serão modificados na operação de escala. Para modificar apenas 1 eixo, o usuário desmarca aqueles que não tem interesse e realiza a operação.

Por fim, a aba de Rede (área 4) permite o protótipo receber dados externos via socket. Essa funcionalidade é usada para alterar determinados objetos virtuais na cena com base nas mudanças ocorridas e detectadas no mundo real. Essa função será explicada mais a diante.

5.4 Prateleira de ferramentas

A prateleira de ferramentas é usada para adicionar e modificar objetos virtuais na cena. Mostrado na Figura 8, este recurso apresenta seu conteúdo em forma de páginas, com 9 elementos em cada. Para trocar de página, o usuário interage com as setas no canto superior direito da prateleira. As páginas podem ser filtradas para mostrar todos os conteúdos, apenas as ações ou apenas os objetos virtuais.

O conteúdo da prateleira é formado por dois tipos de elementos distintos. Os **Objetos** e as **Ações**. As próximas sessões descrevem estes elementos e como eles atendem aos requisitos do framework.



- 1: Abas de conteúdo, podendo exibir tudo (Todos), apenas as ações (Ações) ou apenas os objetos (Objetos)**
- 2: Botões para navegar entre as páginas**
- 3: Conteúdo da prateleira**

Figura 8: Prateleira de Ferramentas.

Fonte: O autor

5.5 Objetos

Os objetos são formados por modelos 3D, arquivos multimídia (texto, imagem e vídeo) e animações.

Os objetos 3D estão subdivididos entre objetos primitivos, como cubos, cilindros, cones e setas, e objetos customizados, criados em alguma ferramenta de modelagem, que podem ser baixados do servidor e usados na sessão.

Já os objetos do tipo multimídia permitem ao especialista utilizar materiais prontos para auxiliar na construção do treinamento. Para usá-lo o usuário interage com o Painel Multimídia. Esse painel possui uma interface própria que permite selecionar qual tipo de arquivo deseja carregar no painel. A Figura 9 mostra a interface exibida quando o usuário quer adicionar um arquivo texto no painel. Uma interface similar aparece para as imagens e vídeo.



Figura 9: Interface do Painel Multimídia (Arquivo Texto).

Fonte: O autor

Nessa interface, o usuário pode selecionar também um arquivo texto na lista de arquivos encontrado na aba “Arquivos”. Ao selecionar o arquivo, as linhas são listadas na aba “Conteúdo”. Selecionar uma linha fará com que ela seja adicionada na aba “Texto Final”. Por fim, selecionar o botão “Carregar texto” criará um painel de texto com o conteúdo na aba “Texto Final”.

Caso o especialista queira adicionar um texto personalizado, ele pode usar um Teclado Virtual. O teclado é exibido sempre que um botão de edição de texto é selecionado. O teclado é exibido na Figura 10.

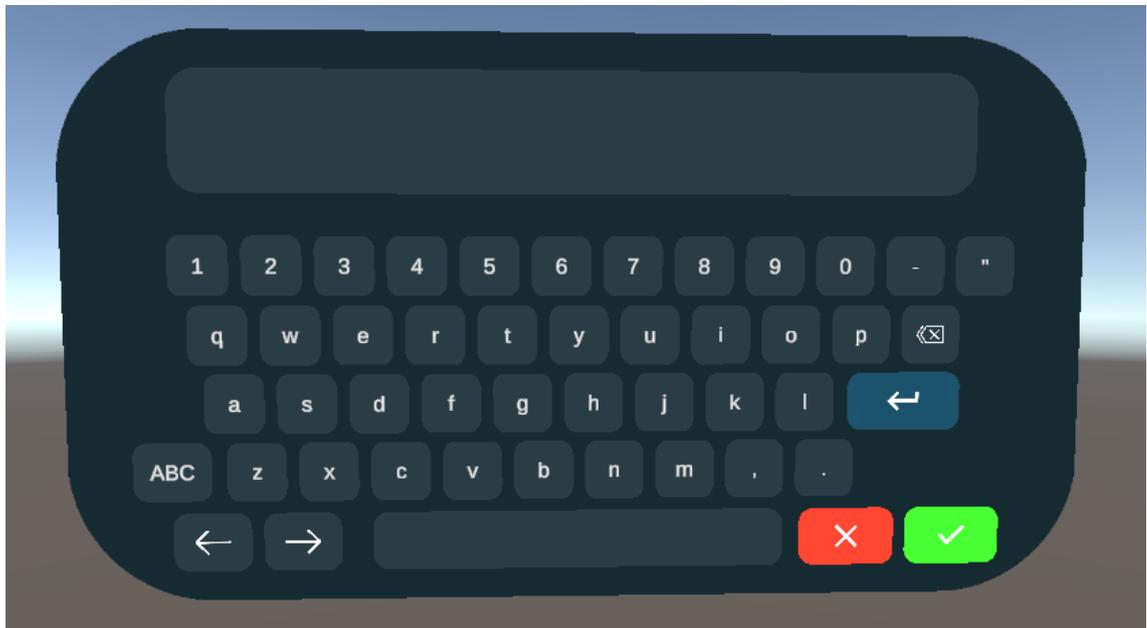


Figura 10: Teclado Virtual.

Fonte: O autor

5.6 Ações

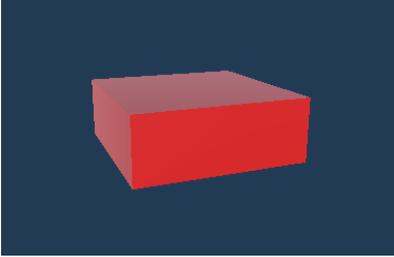
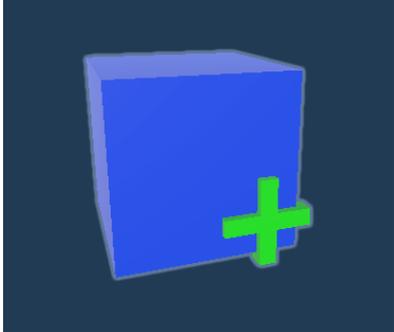
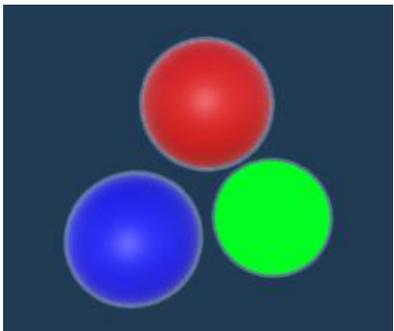
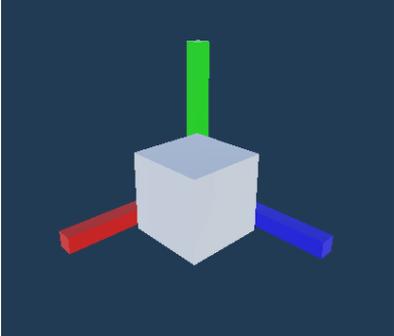
As **ações** permitem alterar o formato e comportamento dos objetos 3D dentro de um treinamento. Para aplicar uma ação, o usuário deve selecioná-lo na prateleira, apontar para o objeto alvo com o gatilho pressionado e soltá-lo. Esse procedimento pode variar dependendo do tipo de ação escolhida. Existem 2 tipos de ações: Ações Instantâneas e Contínuas.

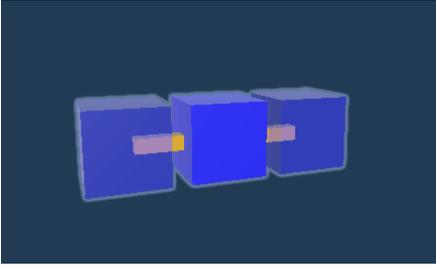
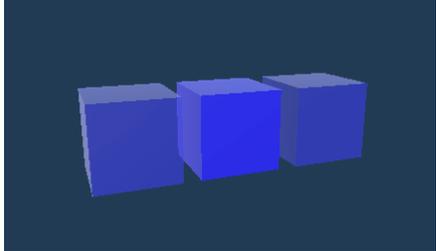
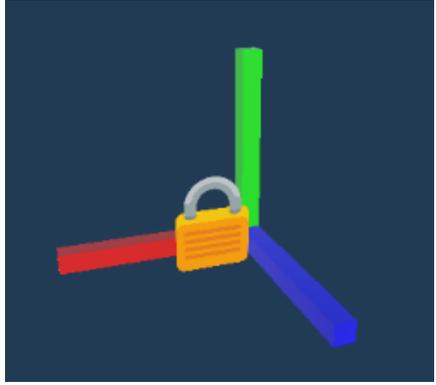
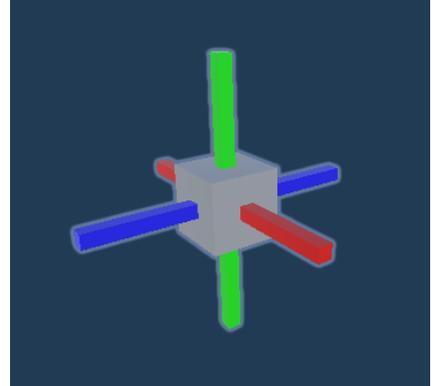
As **ações instantâneas** só são aplicadas quando o gatilho é solto enquanto um objeto está sendo apontado. Já as **ações contínuas** aplicam a ação sempre que o raio colidir com um objeto. Quando o raio colide com um objeto que já tenha sido afetado pela ação, a ação é removida deste objeto.

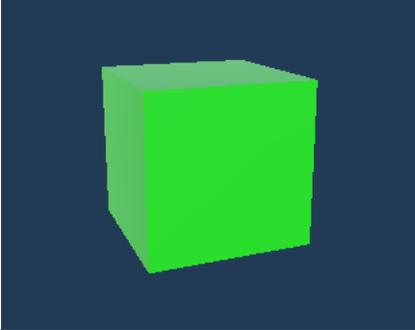
Para auxiliar o entendimento do usuário ao usar com as ações que estão sendo aplicadas, o protótipo utiliza um feedback sonoro para quando a ação é aplicada e removida do objeto e feedback visuais, adicionando um destaque no objeto apontado pelo controle.

A Tabela 2 exibe os ícones das ações disponíveis na Prateleira de Ferramentas.

Tabela 2: Ícones das ações disponíveis na Prateleira de Ferramentas.

Ícones	Nome
	Selecionar Objeto
	Criar Grupo
	Copiar Objeto
	Alterar Cor
	Alterar Dimensões

Ícones	Nome
	<p>Definir Objeto Persistente</p>
	<p>Definir Objeto de Oclusão</p>
	<p>Replicar Objeto</p>
	<p>Definir Objeto Fixo</p>
	<p>Alinhar Origem</p>

Ícones	Nome
	Rastrear Objeto

A seguir, são descritas todas as ações disponíveis no protótipo.

5.6.1 Selecionar Objeto

Uma ação comum em uma ferramenta de modelagem é a de selecionar múltiplos objetos para interagir com todos ao mesmo tempo.

No protótipo, a ação de selecionar objetos é do tipo contínua, ou seja, todos os objetos que o usuário apontar com o controle serão selecionados enquanto o gatilho estiver sendo pressionado. Um contorno vermelho é criado ao redor de todos os objetos incluídos na seleção, como exibido na Figura 11.

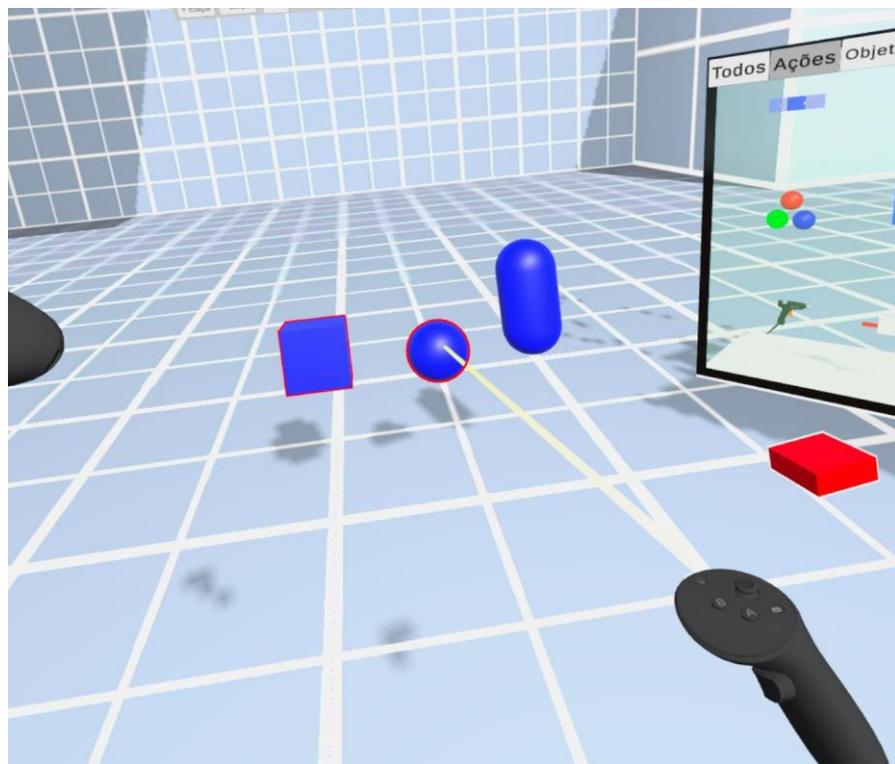


Figura 11: Exemplo de contorno exibido para objetos selecionados.

Fonte: O autor

Assim que o gatilho é solto, qualquer interação feita em um dos objetos selecionados é aplicada aos demais. Interagir com um objeto que não esteja selecionado desativa a seleção atual.

5.6.2 Criar Grupo

Essa ação funciona da mesma forma que a de selecionar objetos, porém agora criando um grupo permanente. O mesmo contorno vermelho é adicionado aos objetos do grupo.

5.6.3 Duplicar Objeto

Ação que permite criar uma cópia do objeto. O objeto criado mantém apenas a aparência e formato do original, sem copiar as propriedades (persistência na cena, oclusão, fixo, etc).

5.6.4 Alterar Cor

Permite alterar a cor dos componentes de um objeto. Um objeto pode ter apenas um componente, como um cubo, ou mais de um, como um guarda-chuva, contendo o cabo, arame e lona. Essa ação permite navegar por todos os componentes e troca a cor de cada um deles. Ao selecionar um componente pela interface, um contorno branco é exibido em torno do componente, informando qual parte do objeto será alterado. A escolha da cor e componente é feita através da interface (Figura 12) que é exibida no ambiente assim que a ação ativada.

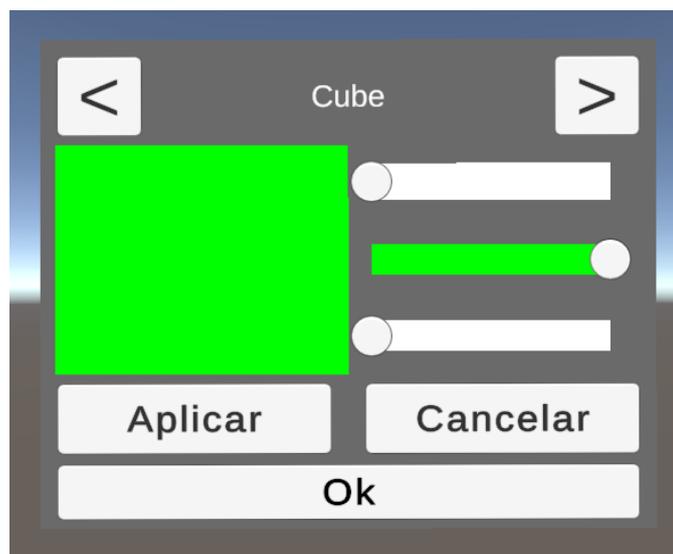


Figura 12: Interface da ação de trocar cor de um objeto.

Fonte: O autor

5.6.5 Alterar Dimensões

Essa ação permite ao usuário definir um tamanho específico para o objeto nos 3 eixos. Ao aplicar a ação no objeto, a interface, exibida na Figura 13, é criada e o usuário insere o tamanho de cada eixo. Definir um novo valor para o eixo modifica o objeto em tempo real. Ao selecionar a opção “Ok”, a interface se fecha.

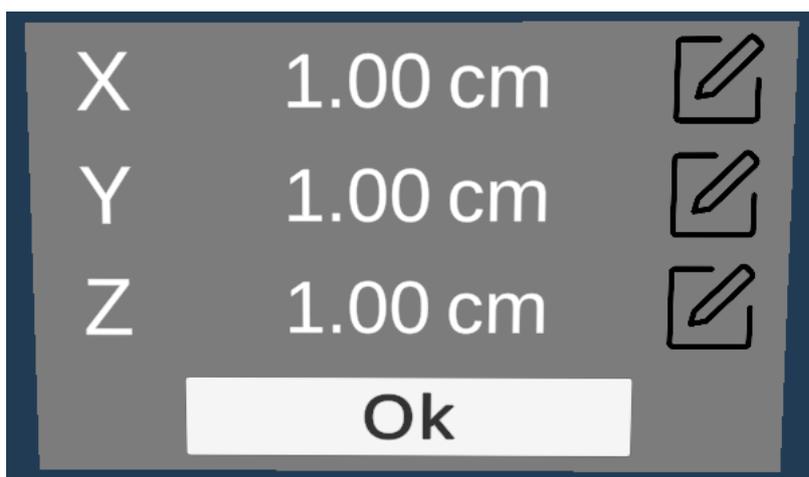


Figura 13: Interface da ação de alterar dimensões.

Fonte: O autor

O protótipo ainda disponibiliza uma forma mais rápida de alterar o tamanho do objeto, porém com menos precisão. Essa operação é chamada de Escala. Para isso, o usuário deve apontar os dois controles para o objeto e pressionar os gatilhos superiores. Com isso, afastar os controles aumenta o tamanho do objeto, enquanto aproximá-los diminui seu tamanho. Há a possibilidade de definir quais eixos serão modificados nessa operação, através do painel de controle.

5.6.6 Definir Objeto Persistente

Nos casos em que o usuário não está no local do objeto alvo do treinamento, o especialista pode querer usar um modelo 3D do objeto real com referência para o treinamento. Para isso, o protótipo possui a ação Definir Objeto Persistente. Um objeto persistente permanece na cena quando uma nova etapa é carregada. Desta forma, o especialista pode posicionar o modelo 3D na cena, aplicar a ação de persistência e posicionar os objetos 3D auxiliares ao redor do modelo em cada etapa.

5.6.7 Definir Objeto de Oclusão

Haverá casos em que o especialista irá posicionar um objeto 3D atrás de um objeto real. Para que esse objeto real obstrua a exibição do objeto 3D, é necessário poder definir o objeto como sendo de oclusão. Objetos de oclusão renderizam apenas as partes visíveis dos objetos obstruídos para o usuário. Um exemplo de oclusão é mostrado na Figura 14.



Figura 14: Exemplo de oclusão de um objeto 3D.

Fonte: O autor

5.6.8 Replicar Objeto

Durante a criação de um treinamento, podem existir situações nas quais o especialista deseja reutilizar um mesmo objeto em mais de uma etapa, sem que este seja persistente. Para isso, a ação de Replicar Objeto permite criar uma cópia do objeto nas etapas selecionadas pelo usuário. A interface da ação, exibida na Figura 15, permite selecionar todas as etapas de interesse e confirmar a operação.

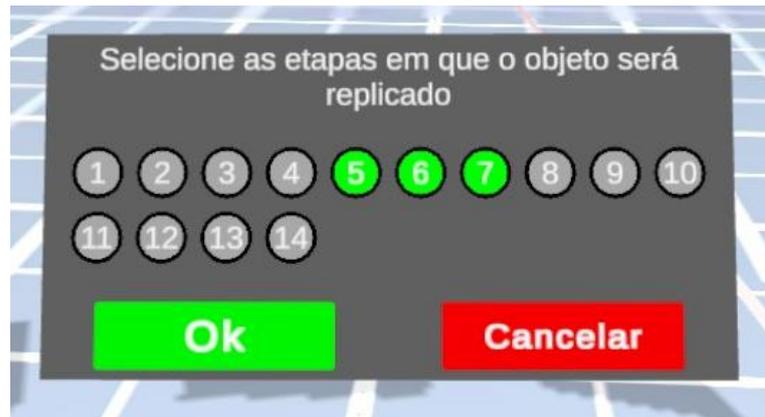


Figura 15: Interface da ação Replicar Objeto.

Fonte: O autor

Os objetos criados não possuem um vínculo com o original, ou seja, a ação apenas cria cópias dos objetos nas etapas selecionadas. Com isto a mudança do objeto em uma etapa não altera este nas demais etapas.

5.6.9 Definir Objeto Fixo

Essa ação permite desabilitar a movimentação de um determinado objeto na cena. Isso pode ser útil quando o especialista montar um treinamento no qual deseja que o usuário manipule objetos, mas ao mesmo tempo, precisa definir um grupo de objetos que não podem ser movidos na cena, como instruções ou objetos auxiliares na explicação.

5.6.10 Alinhar Objeto na Origem

Um recurso importante em aplicações de Realidade Aumentada é a possibilidade de alinhar um objeto virtual com o real. Isso permite que os objetos virtuais posicionados ao redor do objeto real passem a impressão de coexistência com o real.

A ação Alinhar Objeto na Origem permite esse comportamento. A ação permite ao especialista alinhar um modelo 3D na origem da cena virtual. Com o objeto centralizado na origem da cena, o especialista apenas precisa definir a ancoragem da sessão na mesma posição que o objeto alvo. Assim, caso o modelo 3D tenha a sua posição de origem na mesma posição em que a ancoragem foi feita, os objetos ficaram alinhados.

5.6.11 Rastrear Objeto

Para atender ao requisito de rastrear os objetos reais e visualizá-los no ambiente virtual, identificado através da análise dos trabalhos (Bhattacharya & H. Winer, 2019) (Cannavò, Praticò, Ministeri, & Lamberti, 2018) (Cecil, Gupta, Pirela-Cruz, & Ramanathan, 2018) (Agrawal & Pillai, 2020), o protótipo possui um mecanismo que permite alterar propriedade dos objetos virtuais da cena com base em eventos do mundo real recebidos pela rede.

Um exemplo destes casos seria mudar uma mensagem no ambiente virtual quando o um botão for acionado, correta ou incorretamente, no mundo real, pelo aprendiz.

Esses eventos podem ser gerados por qualquer aplicação, desde que esta envie para o endereço e porta do Socket UDP criando pela aplicação e que respeite o formato de mensagem aceito para alterar os valores dos objetos. A Figura 16 mostra a interface exibida ao aplicar a ação em um objeto.

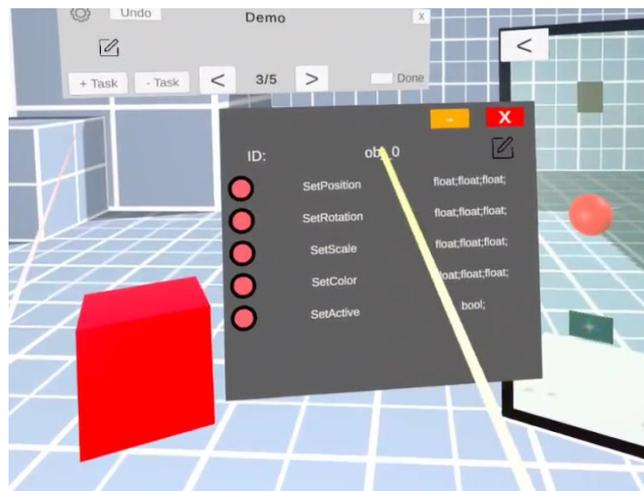


Figura 16: Interface da ação de Rastrear Objeto.

Fonte: O autor

Os eventos podem alterar a posição, rotação, escala, cor e visibilidade de um objeto. Isso permite o uso de sensores no ambiente real que detectem a mudança de estado de algum objeto e enviem um evento para a aplicação e atualizando o objeto virtual atrelado a ele.

As configurações de rede podem ser alteradas na aba de Rede, no painel de controle. A aba permite conectar/desconectar o servidor, escolher o IP e Porta de acesso no Socket. Detalhes de como montar um pacote de dados que possa interagir com o protótipo são apresentados no Apêndice C.

6 Estudo com Usuários

Esse capítulo descreve os experimentos realizados para validar o protótipo da metodologia desenvolvida. O objetivo dos experimentos foi verificar se os elementos presentes constituintes do framework são suficientes para permitir que usuários especialistas em um dado domínio consigam criar, de forma satisfatória, tutoriais de execução de uma tarefa manual deste domínio.

Para o atingimento deste objetivo foi necessário considerar dois aspectos. O primeiro é o conhecimento prévio do usuário no uso de cenários virtuais imersivos que, se for muito rudimentar, ou inexistente, pode prejudicar o aprendizado do protótipo. O segundo foi definir atividades que pudessem ser feitas por um número significativo de usuários, a fim de prover confiabilidade para a análise das opiniões sobre o protótipo.

Para abordar esses problemas, foram feitos 2 experimentos. Um envolvendo usuários não especialistas, que tiveram que construir um tutorial de uso de uma cafeteira Dolce Gusto e outro com especialistas no uso de uma máquina de corte a LASER. A cafeteira foi escolhida por ser uma máquina de pequeno porte, fácil de manusear e presente no dia a dia de muitas pessoas, facilitando a criação de um tutorial por parte das pessoas que participarem. Já a máquina de corte a LASER possui um grupo mais específico de usuários, além de ser uma máquina de grande porte e relativamente complexa de se operar.

6.1 Design dos Experimentos

Os dois experimentos foram executados em três fases, sendo elas **Capacitação em RV**, **Tutorial** e **Atividade**. As duas primeiras fases eram idênticas para os dois grupos de usuários, já a terceira, mudava conforme o experimento associado ao usuário. Ao final, dois questionários foram aplicados para coletar a percepção dos participantes quanto à interface do protótipo.

A fase de **Capacitação em RV** consiste em solicitar ao usuário que monte um pequeno cenário usando uma interação básica em RV. Essa fase serve para acostumar o usuário com a interação com os objetos 3D usando controles. A Figura 17 exibe a cena visualizada pelo usuário ao ingressar no ambiente. A tarefa do usuário é a montagem de uma cópia do cenário exibido do lado

esquerdo da cena, utilizando os objetos disponíveis no lado direito. Para possibilita a interação, foram dadas instruções básicas de como pegar, mover e liberar um objeto. A atividade dura de 3 a 5 minutos. Após terminar de montar o cenário, o usuário passava para a fase do **Tutorial**.

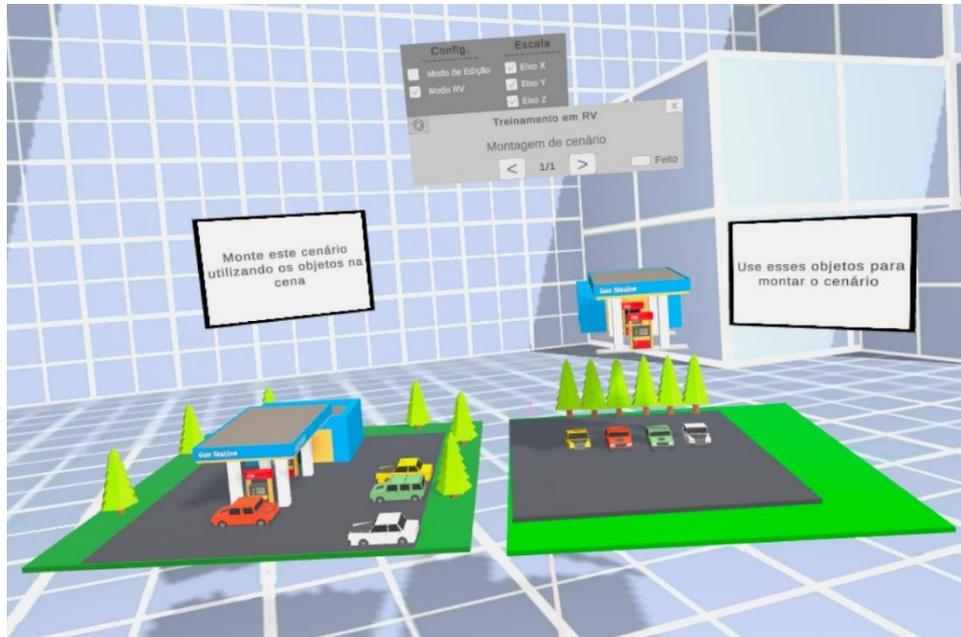


Figura 17: Etapa de Capacitação em Realidade Virtual
Fonte: O autor

A fase do **Tutorial** serve para apresentar o usuário aos conceitos e recursos do protótipo. Devido ao grande número de recursos implementadas no protótipo, um tutorial para explicar todos os mecanismos do protótipo iria estender demais a duração dos experimentos. Por isto, foi selecionado um conjunto de ações definidas como essenciais para a montagem de uma cena em RV, quais sejam:

- Inserir, modificar tamanho e excluir um objeto 3D;
- Painel multimídia;
- Duplicar objeto;
- Trocar cor do objeto;
- Criar grupos;
- Alterar tamanho específico de objeto.

Essa fase consiste em 12 etapas explicando o funcionamento do protótipo e algumas ações disponíveis, durante de 17 a 20 minutos. As etapas foram montadas usando o próprio protótipo, inserindo painéis de vídeo explicando um conceito de cada recurso do framework e propondo um pequeno exercício para fixá-lo. Um exemplo de uma etapa do tutorial é mostrado na Figura 18, na qual

é apresentada a funcionalidade ligada a troca de modo de operação, passando do modo de execução para edição.

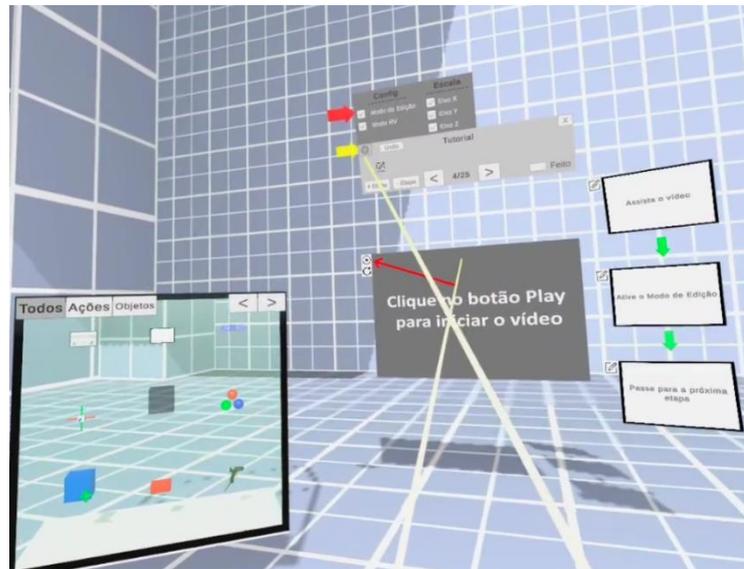


Figura 18: Exemplo de uma etapa do Tutorial.

Fonte: O autor

A fase da **Atividade** consiste na criação de uma sessão de treinamento no protótipo usando as ferramentas apresentadas no tutorial. Tanto para a operação da cafeteira, quanto da máquina de corte à LASER, foi disponibilizado um tutorial com um passo a passo para os usuários usarem como guia durante a montagem do treinamento. Este tutorial foi apresentado tanto em papel quanto em formato de painéis de texto, dentro da aplicação. O tutorial da cafeteira baseou-se no manual do fabricante. Já o da máquina de corte à LASER foi criado após uma consulta com um técnico de laboratório de onde a máquina estava instalada.

A execução desta fase teve a duração estimada, de forma empírica, em 25 a 40 minutos.

Por fim, para coletar as opiniões dos participantes quanto à utilização do protótipo, foram utilizados dois questionários.

O primeiro foi uma adaptação do questionário SUS (System Usability Scale) (Brooke, 1996). Este questionário foi criado para gerar uma nota para a interface do protótipo com base no nível de concordância do usuário em relação a afirmações feitas sobre o protótipo. Cada afirmação possui 5 alternativas, indo de 1 (discordância total) a 5 (concordância total). A Tabela 3 exibe as afirmações usadas para esse experimento.

Tabela 3: Perguntas do questionário SUS adaptadas.

Número	Pergunta
1	Achei a ferramenta desnecessariamente complexa.
2	Achei a ferramenta confortável de usar.
3	Achei a ferramenta cansativa de usar.
4	Achei a ferramenta fácil de usar.
5	Achei a ferramenta fácil de aprender.
6	Achei a ferramenta divertida de usar.
7	Me senti confiante ao usar a ferramenta.
8	Achei a ferramenta útil para criar um tutorial de atividade.
9	Achei o treinamento que criei efetivo para ensinar a tarefa em questão.
10	Eu usaria essa ferramenta para criar treinamento de tarefas manuais.

Para verificar quais recursos e ações os participantes acharam mais útil e dispensáveis, um segundo questionário foi criado. As perguntas são exibidas na Tabela 4. Essas perguntas foram feitas para responder, de forma objetiva, a questão de pesquisa referente a quais funcionalidades devem compor um framework para criação de treinamento em RV/RA, na visão do usuário.

Tabela 4: Perguntas do segundo questionário.

Número	Pergunta
1	Quais funcionalidades você considerou mais úteis para criar tutoriais de tarefas manuais?
2	Quais funcionalidades você considerou dispensáveis para a criação de treinamento de tarefas manuais?
3	Você sentiu falta de alguma funcionalidade durante a criação do treinamento? Se sim, qual(is)?
4	Você considera que o tutorial criado poderia ser usado para treinar pessoas em aplicações reais?

As questões 1 e 2 apresentavam todas as funcionalidades mostradas no tutorial do experimento para que o usuário as selecionasse. São elas:

- Duplicação dos objetos;
- Alteração da cor dos objetos;
- Alteração das dimensões dos objetos;
- Criação de grupos de objetos;
- Criação de Painéis Multimídia (texto, imagem, vídeo);
- Criação de Sequência de etapas;
- Modos de Visualização (Realidade Virtual e Aumentada);

- Modos de Operação (Execução, para alunos e Edição para instrutores).

A questão 3 é dissertativa e tem como objetivo verificar quais funcionalidades o usuário sentiu falta durante a criação de treinamentos.

Por fim, a questão 4 possui três alternativas para verificar a percepção do usuário quanto a utilidade do protótipo em treinamentos reais. As alternativas são:

- Sim, mas somente para tutoriais simples;
- Sim, para a maioria das aplicações;
- Não.

6.2 Equipamentos

Os experimentos foram realizados usando o Head-Mounted Display (HMD) Meta Quest Pro exibido na Figura 19. Esse modelo possui uma resolução de 1800 x 1920 pixels por olho, com o campo de visão de 106° (horizontal) x 96° (vertical). Os participantes interagiram com o protótipo usando dois controles do Meta Quest Pro, usando o gatilho superior para selecionar uma ação ou objeto e o analógico para aproximar e afastar os objetos.



Figura 19: Meta Quest Pro.

Fonte: O autor

6.3 Experimento 1: Cafeteira

O primeiro experimento foi conduzido em uma sala medindo 2,5 x 4 metros, contendo uma mesa de 1 x 1,8 metros. O usuário realizava o experimento sentado em uma cadeira, em frente à mesa, conforme a Figura 20.



Figura 20: Usuário na sala do Experimento 1
Fonte: O autor

Durante o experimento 1, os participantes realizaram a fase de treinamento em RV, seguida do tutorial do protótipo, por fim, o desafio era montar um tutorial de utilização da cafeteira Dolce Gusto, exibida na Figura 21.



Figura 21: Cafeteira Dolce Gusto.
Fonte: O autor

Antes desta 3ª fase, o usuário era apresentado à cafeteira e seu funcionamento. Como recurso para esta apresentação foi usado o manual de utilização da cafeteira, exibido Apêndice A.

Para facilitar a estruturação do tutorial no ambiente imersivo, imagens e painéis de texto deste manual foram disponibilizadas dentro do ambiente, mostrado na Figura 22.

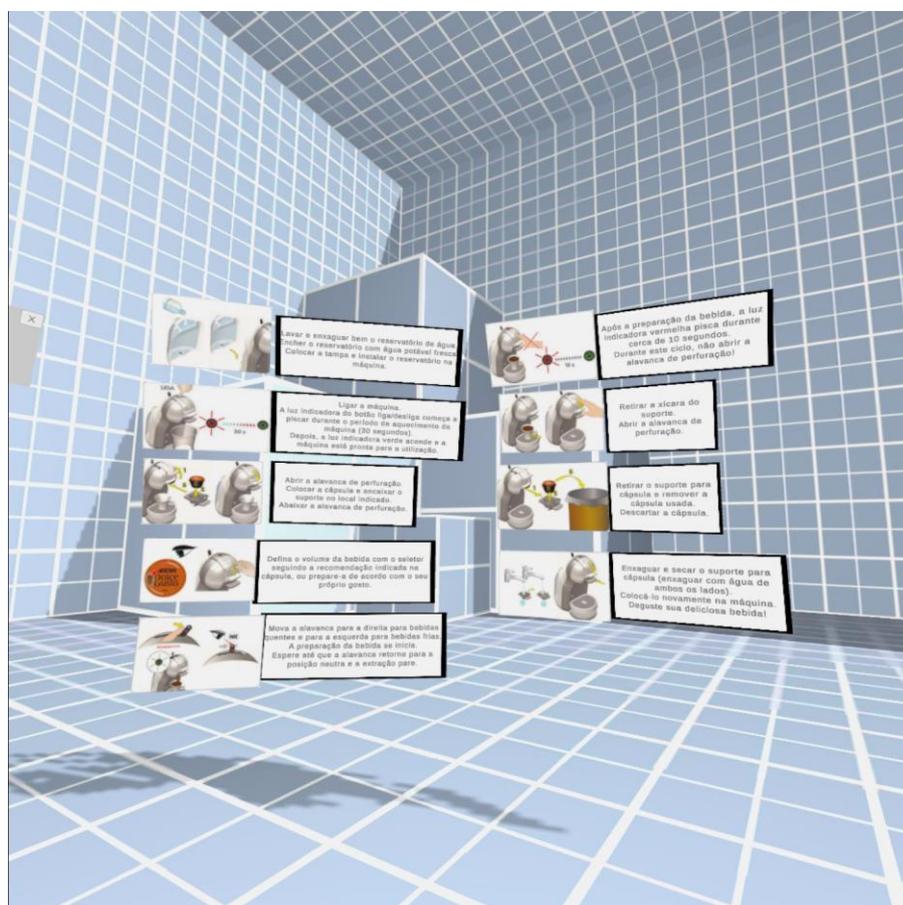


Figura 22: Sugestão de passo a passo do experimento 1.

Fonte: O autor

Assim os participantes podiam focar em como representar as etapas de uso do equipamento, com base nos recursos do framework, sem ter que pensar sobre como se estruturava originalmente um treinamento de uso da cafeteira.

6.3.1 Participantes

O experimento foi realizado com 14 participantes, sendo 9 homens (64%) e 5 mulheres (36%), faixa etária entre 19 e 37 anos ($\mu = 24.2$, $\sigma = 5.3$). Apenas um deles não era estudante de graduação ou pós-graduação. A Figura 23 exhibe um resumo das informações dos participantes. Todos relataram não estar muito cansados no dia, sendo todas as respostas igual ou inferior a 3 (cansaço médio). Com relação ao conhecimento e experiência técnica, 6 participantes (42%) relataram ter pouca experiência em Realidade Virtual ou Aumentada, sendo que

9 (64.3%) utilizam RV/RA entre 1 e 5 vezes. No conhecimento em ferramentas de modelagem 2D/3D, todos possuíam alguma experiência no assunto, sendo 10 participantes responderam ter entre médio e muito conhecimento.

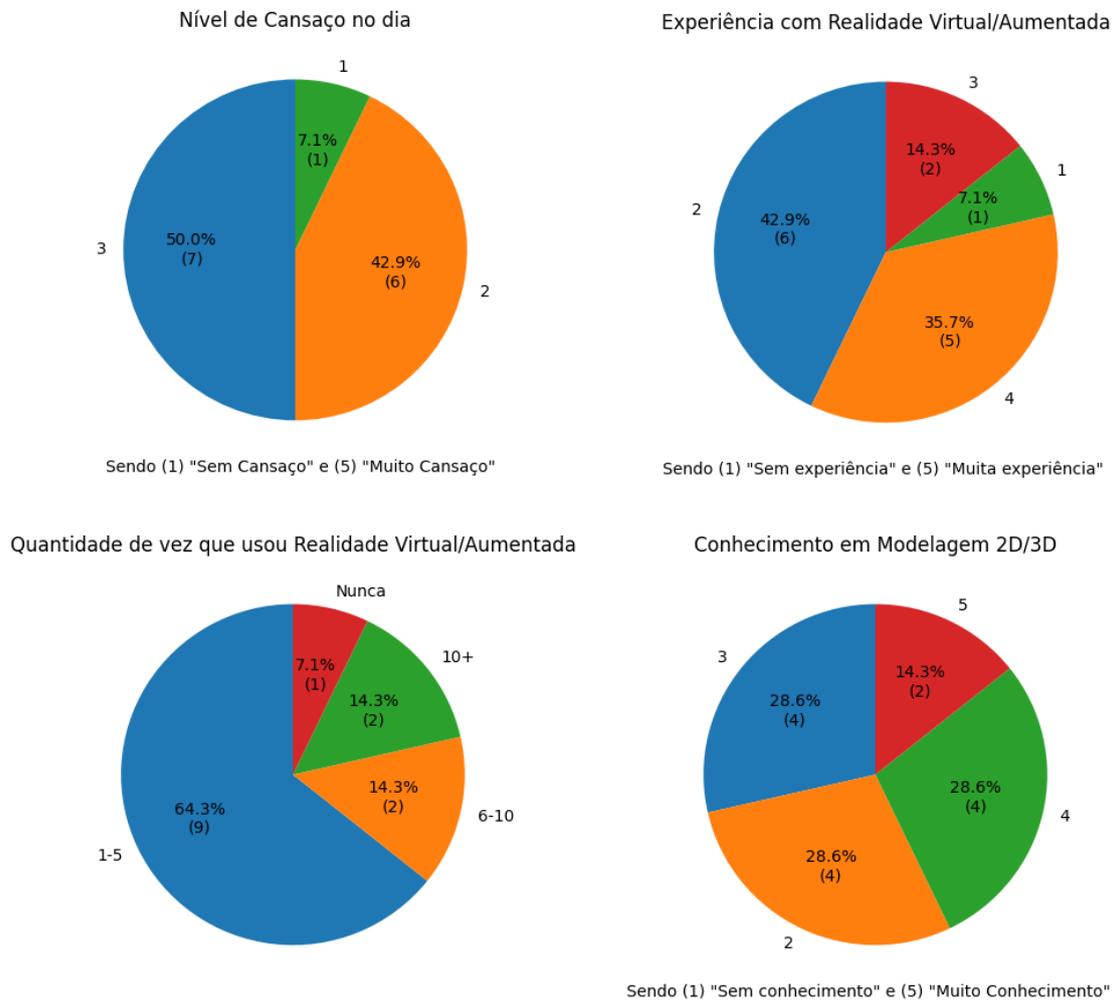


Figura 23: Resumo do perfil dos 14 participantes do Experimento 1.

Fonte: O autor

6.3.2 Cenário criados durante o Experimento 1

Sobre a construção dos cenários, todos os participantes conseguiram realizar a tarefa sem problemas. A Figura 24 mostra alguns dos cenários criados pelas participantes.

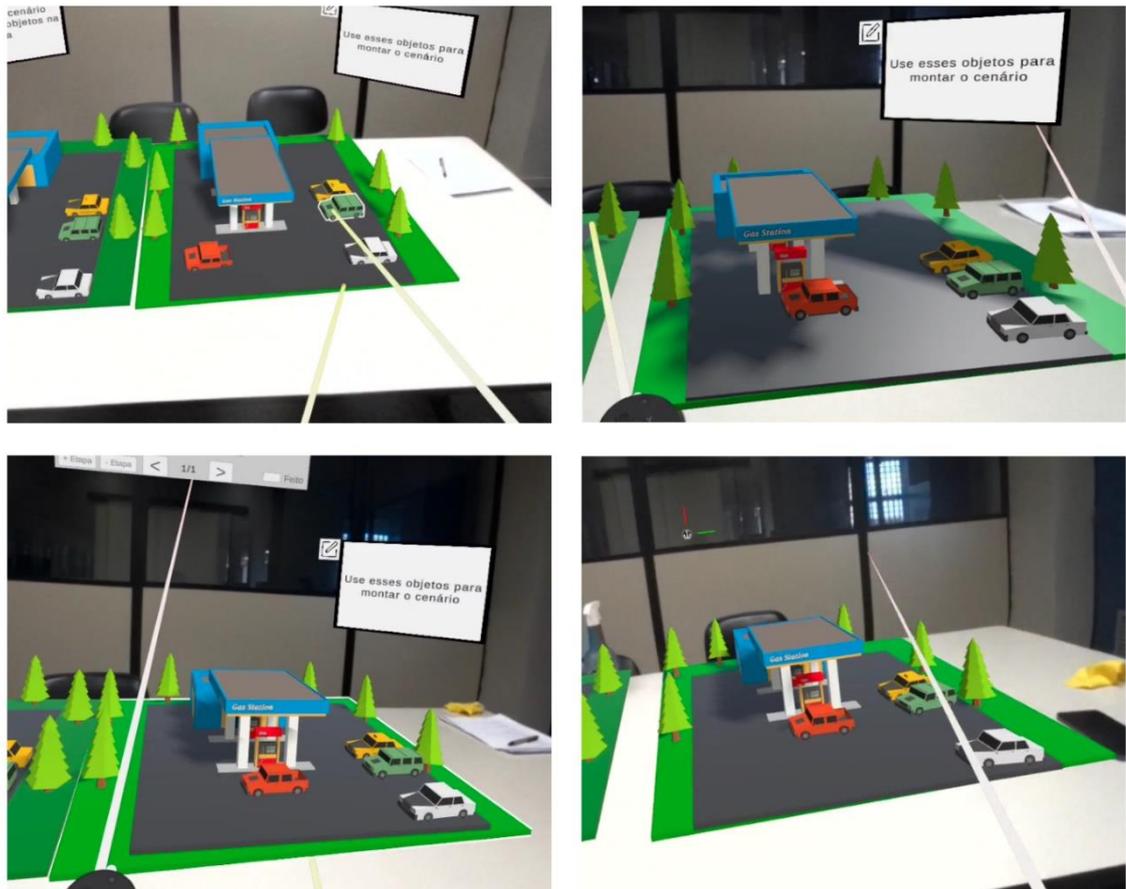


Figura 24: Exemplo de cenários criados no Experimento 1.

Fonte: O autor

6.3.3 Resultados do Experimento 1

A Figura 25 exibe um resumo das respostas dos participantes do questionário SUS. Dos 14 usuários apenas um considerou o protótipo desnecessariamente complexo e outra teve uma opinião neutra sobre a facilidade de uso. Na questão de conforto, 6 dos participantes tiveram opiniões neutras e o restante concordou que o protótipo foi confortável de usar. Alguns dos participantes usavam óculos e relataram não conseguir enxergar muito bem a imagem do HMD, podendo ter causado essa impressão.

Já com questão de cansaço, três usuários relataram ter achado o protótipo cansativo, outras três tiveram opiniões neutras e o restante (8 usuários) não relataram cansaço. Considerando que as sessões demoraram por volta de 1 hora, ter informação de que a maioria não considerou cansativo é um sinal positivo sobre a forma de interação do protótipo.

Resultado do teste de Usabilidade - Experimento 1

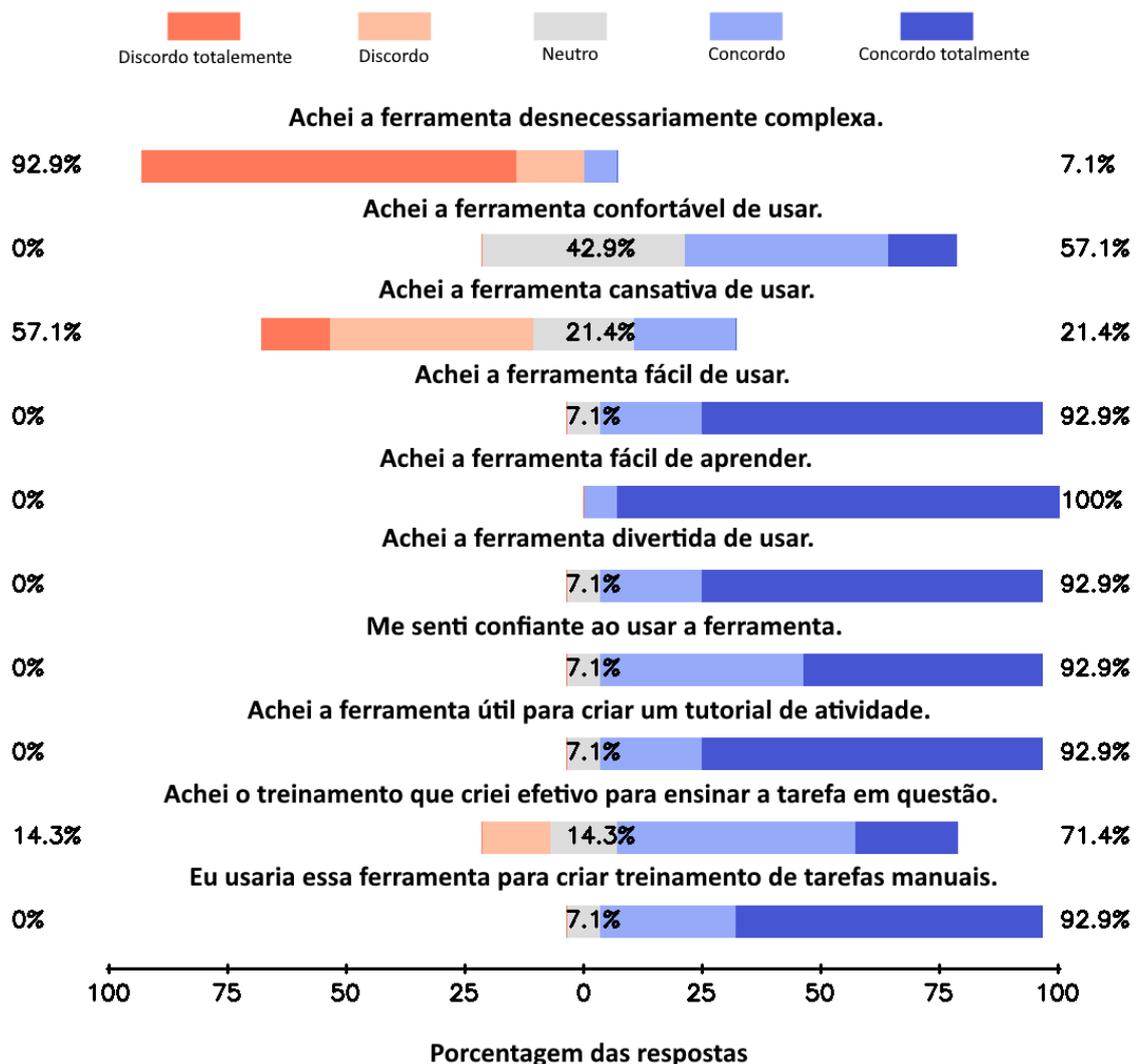


Figura 25: Resultado do *questionário* SUS adaptado usado no Experimento 1.

Fonte: O autor

Todos os participantes concordaram que o protótipo foi fácil de aprender, tendo muitos deles usando a maioria das ações ensinadas durante o Tutorial, como a modelagem de objetos 3D e uso de painéis multimídia. Para as afirmações “Achei a ferramenta divertida de usar”, “Me senti confiante ao usar a ferramenta”, “Achei a ferramenta útil para criar um tutorial de atividade” e “Eu usaria essa ferramenta para criar treinamentos de tarefas manuais”, apenas um participante, não necessariamente o mesmo em cada afirmação, teve opinião neutra enquanto o resto concordaram com as afirmações.

Como relação a afirmativa “Achei o treinamento que criei efetivo para ensinar a tarefa em questão”, houve 2 participantes que tiveram opiniões neutras e outros 2 que discordaram.

Em relação ao questionário 2, as respostas da primeira pergunta são mostradas na Figura 26. A funcionalidade mais votada como útil para criar os tutoriais foi a Criação de Painéis Multimídia, com 11 votos, seguido da Modos de Visualização, com 9 votos e Alteração das Dimensões dos Objetos e Criação de Sequência de Etapas, ambas com 8 votos. A funcionalidades menos votas foram a Alteração de Cor e Criação de grupos de objetos, com 3 votos cada.

Quais funcionalidades você considerou mais úteis para criar tutoriais de tarefas manuais?

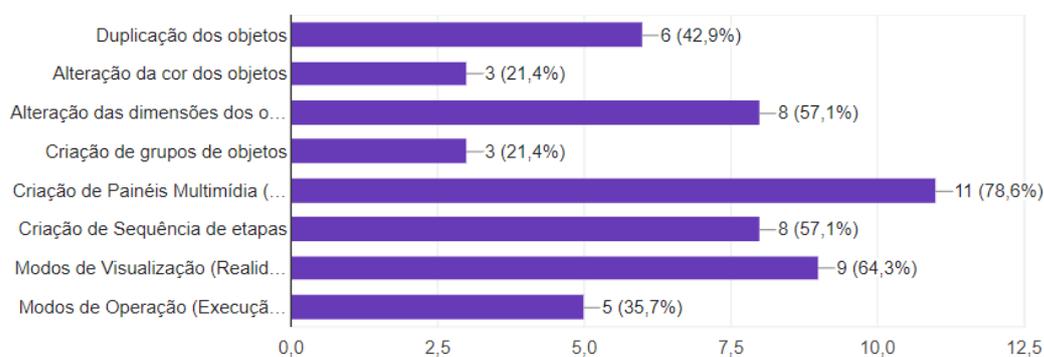


Figura 26: Resultados da pergunta 1 do questionário 2.

Fonte: O autor

Com relação às funcionalidades que os usuários acharam dispensáveis para a criação dos tutoriais, a Figura 27 exibe os resultados. A criação de grupos de objetos foi a funcionalidade mais votada como sendo dispensável, seguido da Alteração de cor e Modos de operação, ambas com 2 votos.

Quais funcionalidades você considerou dispensáveis para a criação de treinamento de tarefas manuais?

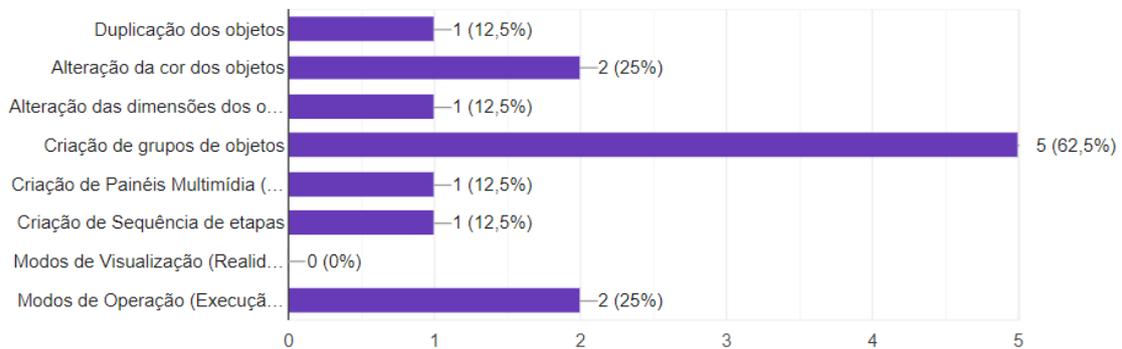


Figura 27: Resultados da pergunta 2 do questionário 2.

Fonte: O autor

Por fim, em relação à percepção do usuário sobre a utilidade do protótipo em cenários reais, a Figura 28 mostrada o resumo das respostas. Ao todo, 11 participantes (78,6%) acharam que o treinamento criado poderia ser usado para a maioria das aplicações reais, enquanto 3 (21,4%) acham que apenas para tutoriais simples. Nenhuma pessoa achou que o treinamento criado não poderia usar usado em aplicações reais.

Você considera que o tutorial criado poderia ser usado para treinar pessoas em aplicações reais?



Figura 28: Resultados da pergunta 4 do questionário 2.

Fonte: O autor

6.4 Experimento 2: Máquina de corte a LASER

O segundo experimento foi conduzido em 2 lugares, ambos no bloco F do prédio 30, da PUCRS. As etapas **Treinamento em RV** e **Tutorial** foram

realizadas em uma sala de aula contendo uma mesa 1x1.5 metros, muito semelhante à sala usada no experimento 1 (Figura 29). A etapa da **Atividade** foi realizada em um laboratório onde está instalada uma máquina de corte a LASER modelo CMA1080, mostrada na Figura 31.



Figura 29: Sala do experimento 2.

Fonte: O autor

Para esse experimento, também foram oferecidas aos usuários instruções de como de passo a passo na cena, mostrado na Figura 30. Os textos são exibidos no Apêndice B. Entretanto, foi dito explicitamente que poderiam adaptar o roteiro como desejassem, já que possuíam conhecimento sobre a atividade.

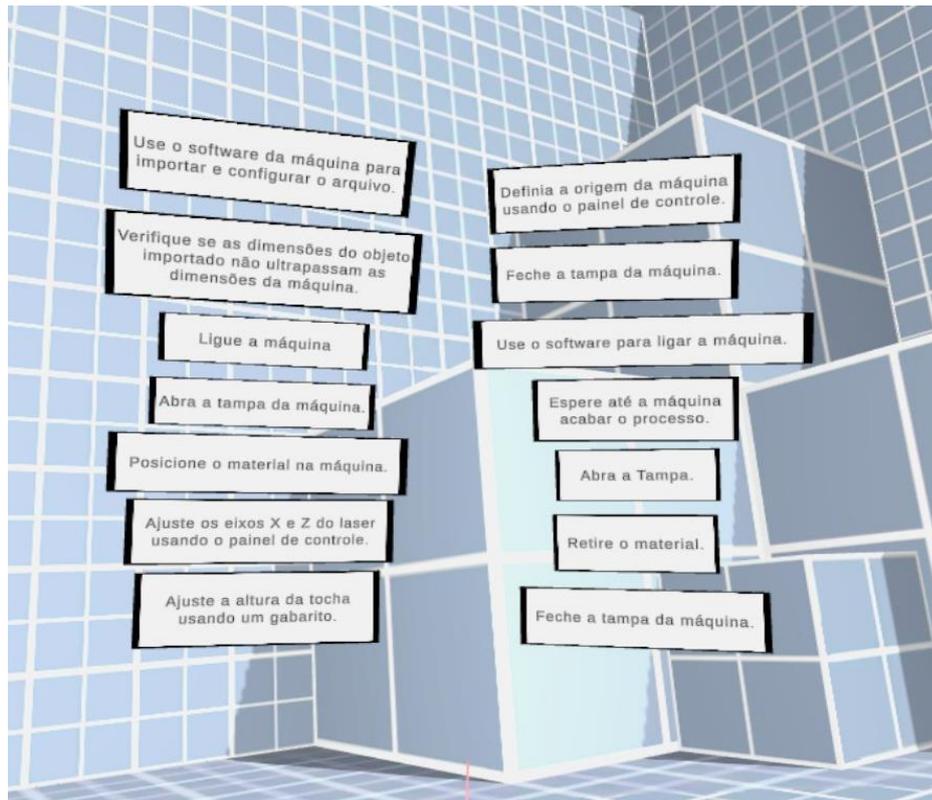


Figura 30: Sugestão de passo a passo do experimento 2.

Fonte: O autor



Figura 31: Máquina de corte a LASER.

Fonte: O autor

6.4.1 Participantes

O experimento foi realizado com dez participantes, sendo nove homens e uma mulher, faixa etária entre 19 e 45 anos ($\mu = 29.4$, $\sigma = 7.05$). Dois deles eram professores universitários da área de Engenharia e o restante estudantes de

graduação de Engenharia Mecânica, Controle e Automação e Ciência da Computação. A Figura 32 exibe um resumo das informações dos participantes. Todos relataram não estar muito cansados no dia, sendo todas as respostas iguais ou inferiores a 3 (cansaço médio). Com relação ao nível de conhecimento e experiência com Realidade Virtual ou Aumentada, 4 participantes relataram não possuir experiência, sendo que 3 nunca haviam utilizado e 5 utilizaram entre 1 e 5 vezes. No quesito sobre conhecimento em ferramentas de modelagem 2D/3D, todos possuíam um nível de conhecimento maior que 3 na escala de 1 a 5.

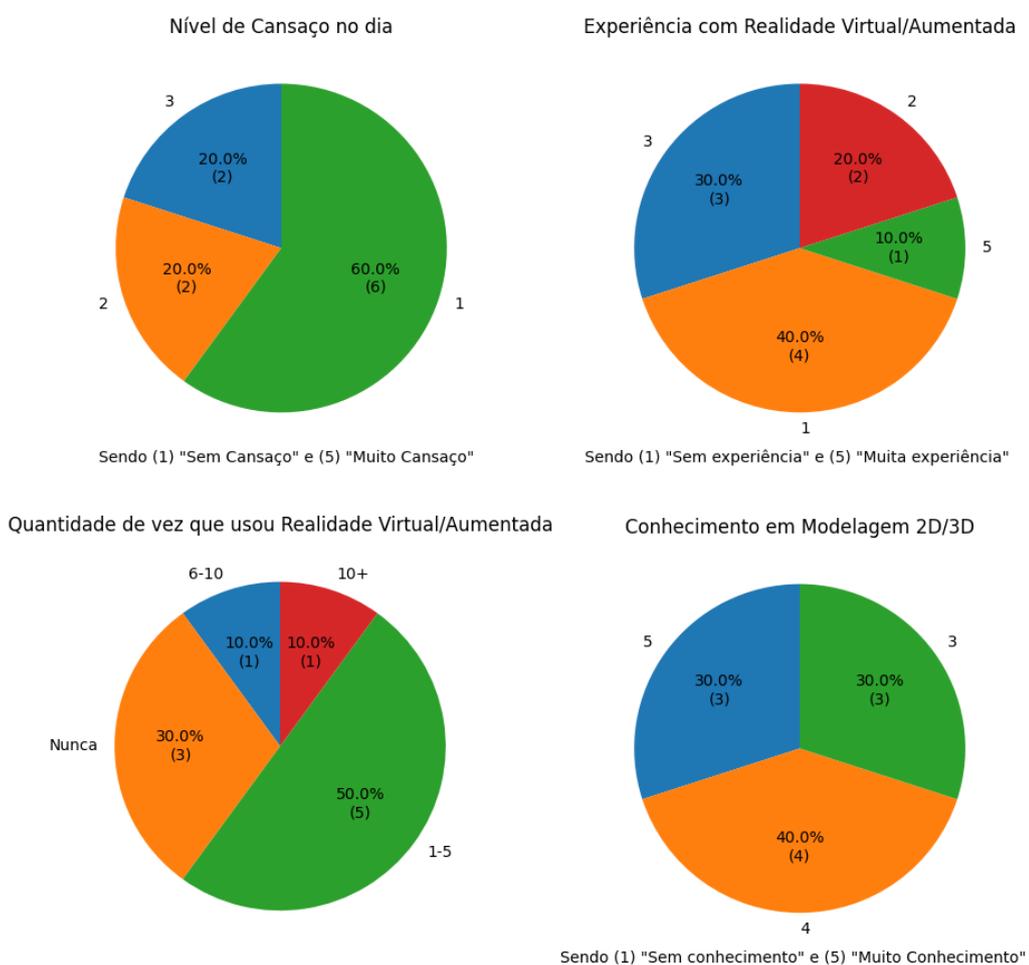


Figura 32: Resumo das informações relatadas pelos 10 participantes no Experimento 2.

Fonte: O autor

6.4.2 Cenários criados durante o Experimento 2

Assim como no Experimento 1, todos os participantes conseguiram realizar a tarefa sem problemas. A Figura 33 mostra alguns dos cenários criados pelas participantes.

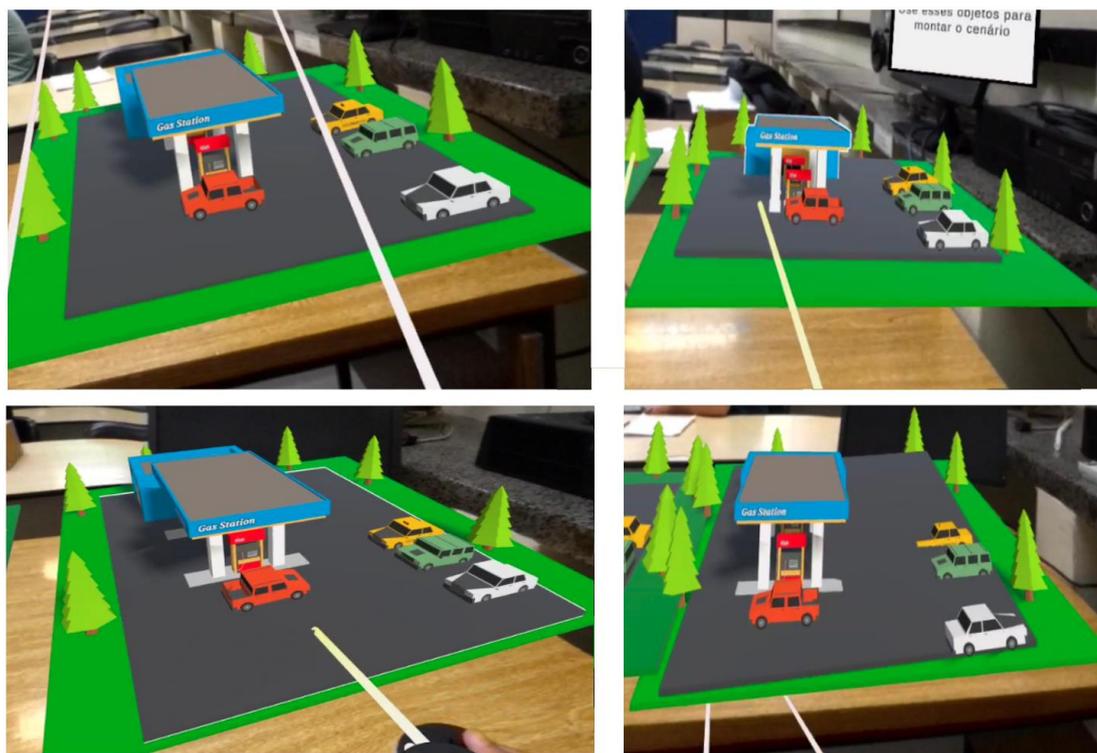


Figura 33: Exemplo de cenários criados no Experimento 2.

Fonte: O autor

6.4.3 Resultados do Experimento 2

A Figura 34 exibe um resumo das respostas dos participantes do questionário SUS. Nas afirmações “Achei a ferramenta desnecessariamente complexa” e “Achei a ferramenta confortável”, houve apenas um participante em cada que discordou. Para as afirmativas “Achei a ferramenta confortável de usar”, “Achei a ferramenta fácil de aprender” e “Achei o treinamento que criei efetivo para ensinar a tarefa em questão”, apenas um participante em cada teve uma resposta neutra. De resto, os participantes concordaram com todas as afirmativas.

Resultado do teste de Usabilidade - Experimento 2

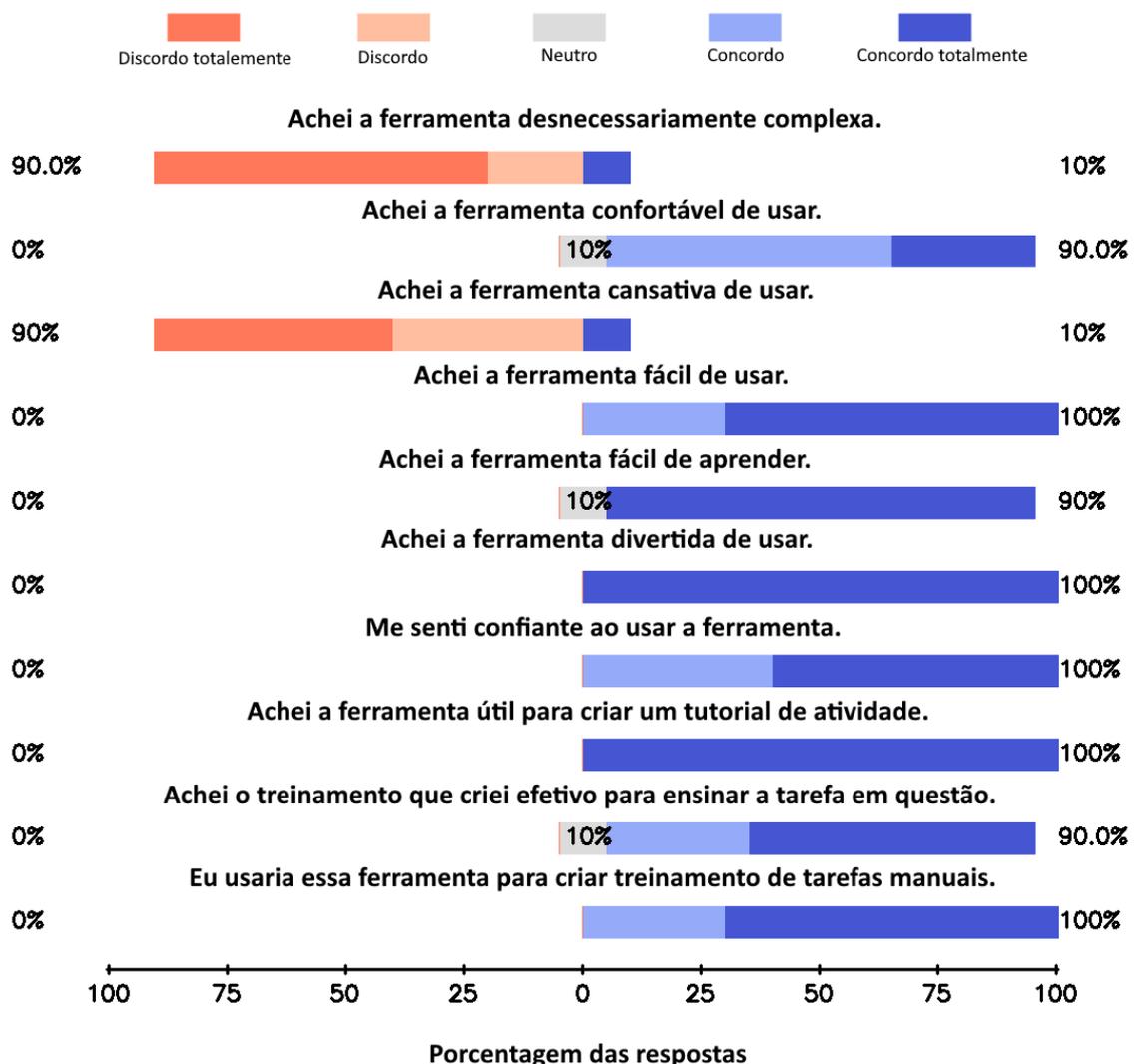


Figura 34: Resultado do *questionário* SUS adaptado usado no Experimento 2.

Fonte: O autor

Os participantes do experimento 2 também relataram um certo desconforto em rotacionar os objetos virtuais, sugerindo alguma ação específica para esse procedimento. Outro participante sugeriu a possibilidade de definir o tamanho dos objetos em outras medidas, como milímetros ou polegadas, pois são as medidas mais usadas no seu dia a dia. Essas sugestões foram anotadas para trabalhos futuros no protótipo.

Com relação às respostas do questionário 2, a Figura 35 mostra as respostas da primeira pergunta. O resultado foi semelhante ao Experimento 1, sendo as ações mais votas a Criação de Painéis Multimídia e Criação de

Sequência de etapas, ambas com 9 votos. A segunda mais votada foi a Alteração das Dimensões, com 7 votos e a Duplicação de objetos em terceiro lugar, com 5 votos. As funcionalidades menos votadas foram a Alteração de Cor de objetos, com 2 votos e a Criação de grupos de objetos, com 1 voto.

Quais funcionalidades você considerou mais úteis para criar tutoriais de tarefas manuais?

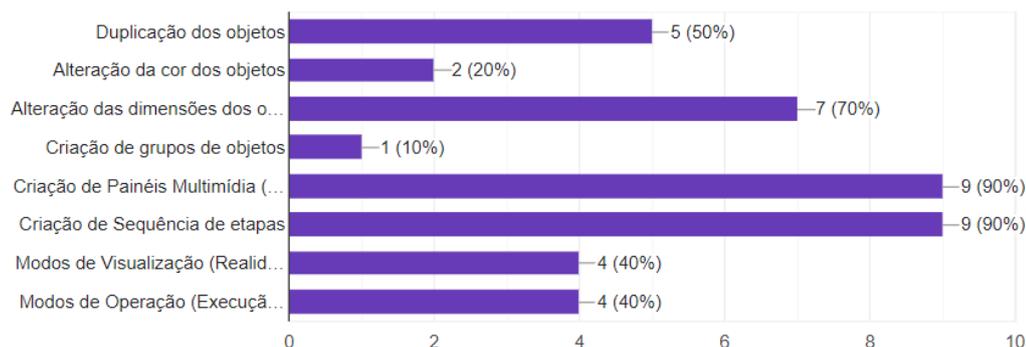


Figura 35: Resultados da pergunta 1 do questionário 2 no Experimento 2.

Fonte: O autor

Sobre as funcionalidades que acharam dispensáveis, o resultado é mostrado na Figura 36. A Criação de grupos de objetos também foi a mais votada, com 3 votos, seguido da Alteração de Cor de objetos, com 2 votos. Apenas a Modos de Operação não foi votada, enquanto o restante teve ao menos 1 voto.

Quais funcionalidades você considerou dispensáveis para a criação de treinamento de tarefas manuais?

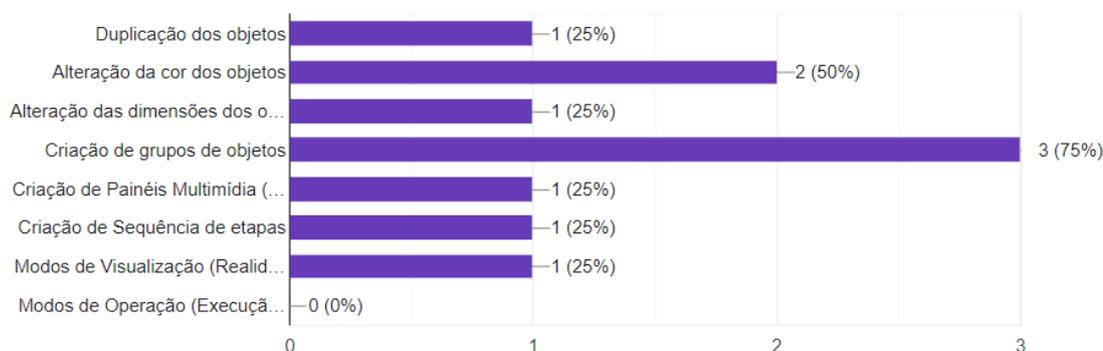


Figura 36: Resultados da pergunta 2 do questionário 2 no Experimento 2.

Fonte: O autor

Por fim, sobre achar a aplicação útil para aplicações reais, 8 participantes acham que pode ser aplicada na maioria das aplicações, enquanto 2 acham que apenas em tutoriais simples.

Você considera que o tutorial criado poderia ser usado para treinar pessoas em aplicações reais?



Figura 37: Resultados da pergunta 4 do questionário 2 no Experimento 2.

7 Discussão dos Resultados

Este capítulo apresenta uma análise dos resultados dos questionários aplicados após os dois experimentos realizados neste trabalho. O objetivo da análise é avaliar o quanto as funcionalidades do framework são de fato adequadas para a construção de treinamentos.

Com relação à **utilização de objetos 3D**, 12 usuários do Experimento 1 utilizaram todos os objetos 3D disponíveis para representar ações ou objetos reais do treinamento. Exemplos de cenas criadas pelos participantes são exibidos na Figura 38 e Figura 39. Apenas dois usuários optaram por utilizar apenas painéis de texto e imagens, criando cenas mais simples, como se pode observar na Figura 40. Estes dois participantes relatam ter pouco experiência com RV/RA, sendo que um deles nunca tinha usado uma aplicação deste tipo, tornando compreensível o resultado das cenas criadas.

Já os usuários do Experimento 2 apresentaram cenas bem menos elaboradas que os usuários do Experimento 1. Exemplos de cenas criadas neste 2º experimento são exibidas na Figura 43 e na Figura 44. Neste grupo de usuários, apenas 4 participantes relataram ter algum nível de conhecimento em RV/RA e, dos 4, 3 deles usaram ações de modelagem nos objetos 3D. O restante utilizou muito os painéis de texto, adicionando apenas alguns objetos 3D com o uma seta para apontar o painel de controle ou a alça da máquina.

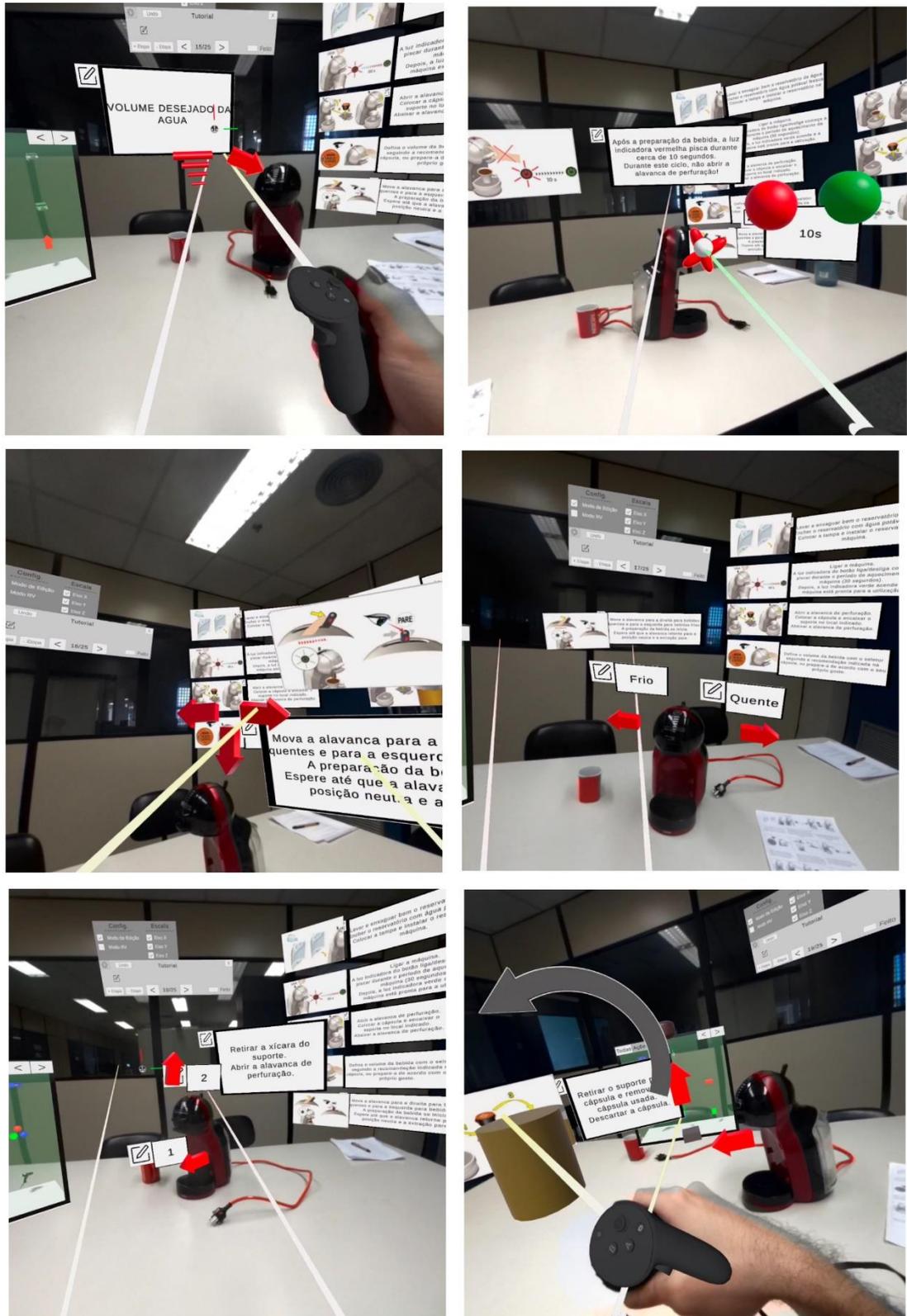


Figura 38: Exemplos de cenas criadas pelos participantes do Experimento 1 (1).

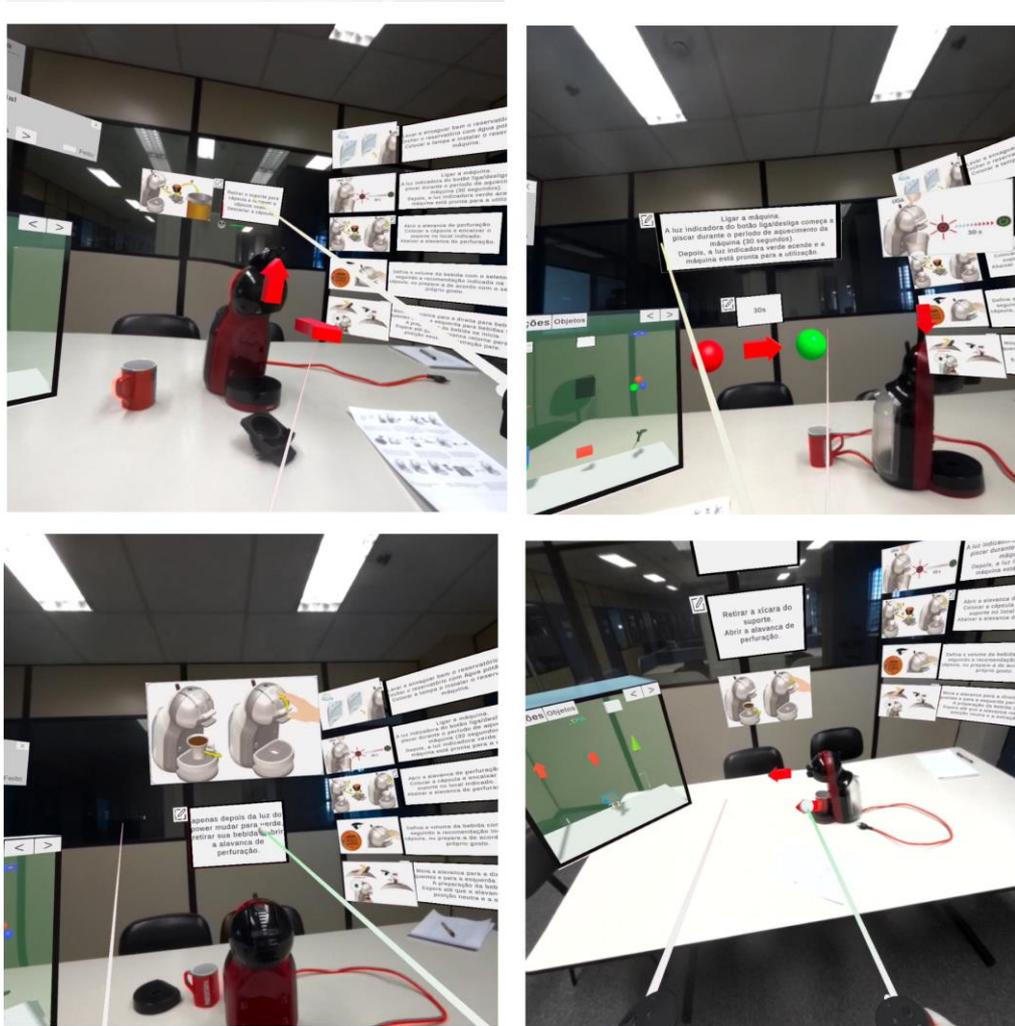


Figura 39: Exemplos de cenas criadas pelos participantes do Experimento 1 (2).



Figura 40: Exemplo de cena montada por 2 participantes no Experimento 1.

Ainda sobre o uso de objetos 3D, alguns participantes relataram sentir falta de mais objetos virtuais para poder representar visualmente as ações que queriam incluir no treinamento. Esses relatos corroboram a importância de se ter suporte à importação de objetos, o que possibilita, por exemplo, que o instrutor incorpore objetos 3D específicos do domínio do treinamento e os utilize durante a criação das etapas. Soma-se a isso o relato de 20 (83,3%) participantes (de ambos os experimentos) terem considerado o Painel Multimídia útil durante a atividade.

Outro comentário pertinente relatado pelos usuários (6) foi a dificuldade de **rotacionar os objetos**. A técnica de apontamento por raio é conhecida por gerar este tipo de dificuldade. Uma forma de mitigar este problema, seria usar eixos de rotação específicos, como aqueles utilizados em ferramentas de modelagem. Esta sugestão, por sinal, foi levantada pela maioria dos usuários do experimento 2, que relataram ter experiência em modelagem 3D.

No Experimento 1, com relação à **edição de objetos**, as ações de alteração de tamanho dos objetos (**Alterar Dimensões e Escala**) foram usadas por todos os usuários. Além disto, 8 usuários indicaram esta como uma funcionalidade útil para a criação de treinamentos, demonstrando a importância do recurso. Destes usuários, a maioria dos participantes (11) realizou a operação de forma direta, apontando objeto com os dois controles.

Já no Experimento 2, as funcionalidades de **Alterar Dimensões e Escala** foram usadas 2 vezes cada e apenas por usuário que relataram ter alguma experiência com RV/RA. Um dos participantes, que relatou ter usado aplicações de RV/RA entre 6 e 10 vezes, utilizou esta ação para representar o tamanho real da área na qual se deve colocar o material na máquina, como mostrado na Figura 41. Neste caso, as ações de alterar o tamanho dos objetos (**Alterar Dimensões e Escala**) também cumpriram seu papel no auxílio da montagem da cena.

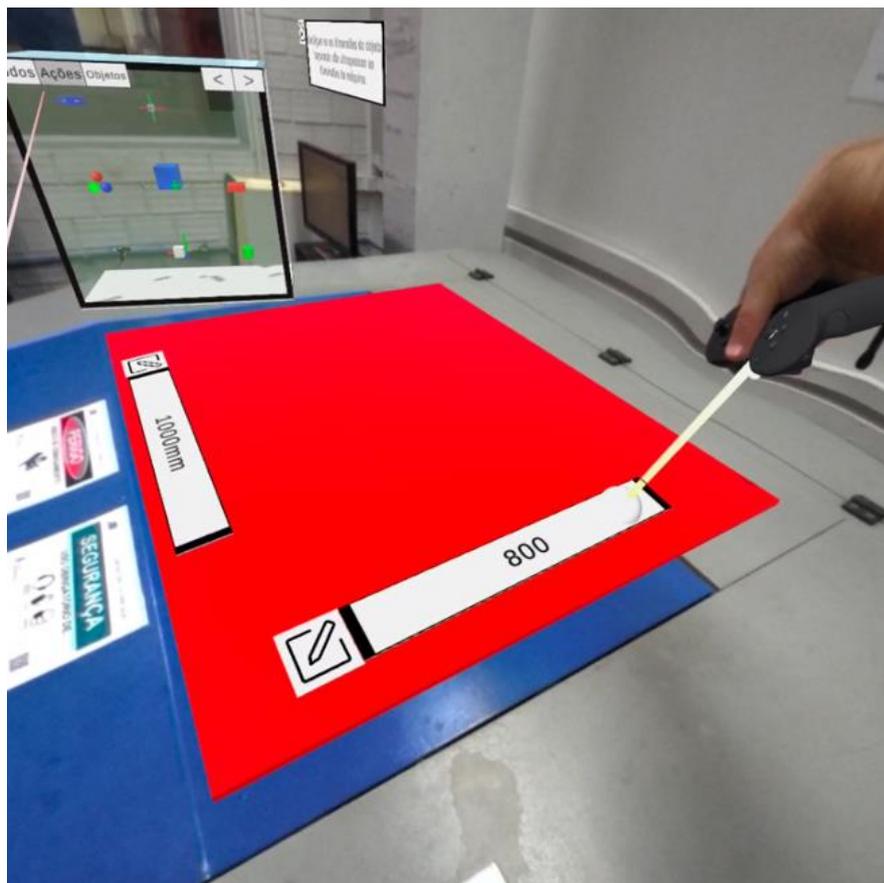


Figura 41: Exemplo de cena bem elaborada por um usuário no Experimento 2.

Com relação às demais ações de modelagem usadas pelos participantes, a ação **Duplicar Objeto**, no Experimento 1, foi usada apenas três vezes, mesmo que a maioria dos treinamentos criados tenham utilizados muitos objetos 3D. Esse resultado pode ter sido gerado pelo pouco tempo de treinamento, levando à dificuldade da plena compreensão das ações ou à falta de tempo para elaboração estratégias para criar as cenas de forma eficiente. Por outro lado, a facilidade de adicionar repetidas vezes o mesmo objeto, diretamente da prateleira, pode ter tornado desnecessário o uso dessa ação de duplicação. Cabe ressaltar que, nos 3 momentos em que a ação de duplicação foi usada, ela foi aplicada sobre objetos que o usuário já havia editado de várias formas, permitindo o uso de uma técnica mais eficiente para a montagem da cena. Todos os usuários que usam essa ação relataram ter um nível de conhecimento em Modelagem 2D/3D de 3, em uma escala de 1 a 5.

No Experimento 2, a ação de **Duplicar Objeto** não foi utilizada, mesmo que 5 dos participantes (50%) tenham informado que consideram a funcionalidade útil para a criação de um treinamento. Provavelmente, essa percepção se deve

pelo nível de experiência em Modelagem 2D/3D dos usuários deste experimento ser no mínimo 3, na escala de 1 a 5, e a ação ser um mecanismo comum nas ferramentas de modelagem. Porém, os participantes não a utilizaram durante a montagem demonstra uma dificuldade em criar cenas mais elaboradas para representar a instrução da etapa. Sendo assim, podemos afirmar que a ação não foi tão útil para a criação das etapas, mesmo sendo usada por alguns no Experimento 1.

A ação de Criação de Grupos foi a ação mais votada como sendo dispensável para a criação dos treinamentos em ambos os experimentos. No Experimento 1, a ação foi utilizada 5 vezes (41,6%) pelos participantes sem um perfil em comum com relação aos níveis de conhecimento em Modelagem e RV/RA. Essa ação foi utilizada quando o participante optava por utilizar um painel de imagem junto com de texto, para explicar a etapa, e quando busco montar um objeto específico, como por exemplo um “X” em 3D, mostrado na Figura 42.

Durante o Experimento 2, a ação não foi utilizada. Com isso, podemos concluir que a ação não é necessária para a montagem de treinamento, visto que a maioria dos participantes, no geral, não sentiram a necessidade de montar as instruções criando agrupamentos.

A segunda ação mais votada como dispensável foi a ação de Trocar Cor de Objetos. No Experimento 1, a ação foi usada por 7 participantes (50%), porém, com base nas cenas montadas, em nenhuma ocasião a cor dos objetos representava alguma informação adicional na instrução, tendo sido utilizada apenas por escolha estética. Já no Experimento 2, a ação foi usada por 3 usuários (30%), que também não utilizam para representar nenhuma informação adicional. Portanto, concluímos que a ação também não é necessária para a criação de treinamentos.

Por fim, a ação usada por todos os participantes foi o Painel Multimídia e a mais votada como ação útil para a criação dos treinamentos. No Experimento 1, houve um caso em que o painel foi usado para destacar valores importantes para instrução, como o tempo médio necessário para esquentar a água, ou para definir uma pequena sequência de ações dentro da etapa (Figura 35). Os usuários também utilizaram bastante a entrada de texto com o Teclado Virtual.

No Experimento 2, mesmo que todos os usuários também tenham utilizado essa funcionalidade foi observado que, durante a criação das etapas, os participantes optaram por reutilizar os painéis de sugestão presentes na cena, havendo poucos casos em que um texto editado pelo usuário era adicionado na etapa.

A Figura 43 e Figura 44 exibem algumas das cenas criadas durante o Experimento 2. Como se pode notar pelas imagens e pelas constatações já apresentadas, os treinamentos criados pelos especialistas foram menos elaborados que os feitos pelos usuários leigos do Experimento 1. A maioria das cenas foram compostas por painéis de texto e objetos 3D simples para apontar um local de interesse. Os participantes do Experimento 2 relataram não ter muita experiência no uso com Realidade Virtual e Aumentada, tornando compreensível que a cenas não tenham utilizado muitos elementos 3D. Porém, todos relataram ter ao menos conhecimento mediano em ferramentas de modelagem 2D/3D, por isso, esperava-se uma maior desenvoltura na montagem da cena e modelagem dos objetos.

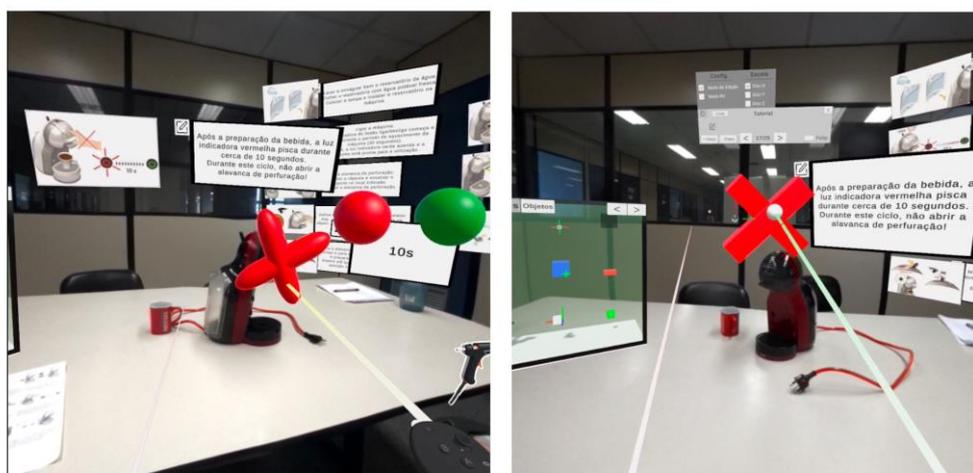


Figura 42: Exemplo do uso da ação Criar Grupo para montar um objeto 3D específico.

Isso demonstra que, para leigos em RV/RA, há a necessidade de mais tempo de treinamento com os recursos providos por essas tecnologias, ou uma

forma mais simples e intuitiva de interação com essas ações, visto que eles possuem o conhecimento sobre o problema (máquina de corte a LASER), mas não conseguem utilizar dos benefícios da tecnologia no processo de construção de uma cena 3D.

As respostas obtidas no questionário sobre as funcionalidades úteis para o treinamento sugerem que os recursos fora do escopo de modelagem 3D embora não tenham sido usados pelos participantes, foram considerados como importantes pelos usuários. O recurso de Sequência de Etapas foi votado 17 vezes (70,8%) como sendo útil para o treinamento, seguido do Modo de Visualização, com 13 votos (54,2%) e o Modo de Operação, com 9 votos (37,5%). Esses recursos foram identificados na maioria dos trabalhos da sessão 3 e, somado à opinião dos participantes, concluímos ser úteis para a criação do treinamento e deve estar no framework.

Por fim, com relação aos recursos e ações que ficaram de fora dos experimentos (Rastreamento de Objetos, Ações de Realidade Aumentada e Rastreamento de mãos), novos experimentos deverão ser conduzidos para verificar sua real utilidade na criação dos treinamentos. Até o momento, a única evidência de sua utilidade se baseia nos trabalhos encontrados na revisão da literatura, que apresenta aplicações com esses recursos para treinamentos específicos. Esses experimentos futuros poderão, além de avaliar esses recursos, também verificar a efetividade, em um cenário real, do treinamento desenvolvido, observando como aprendizes interagem um treinamento criado com o protótipo.

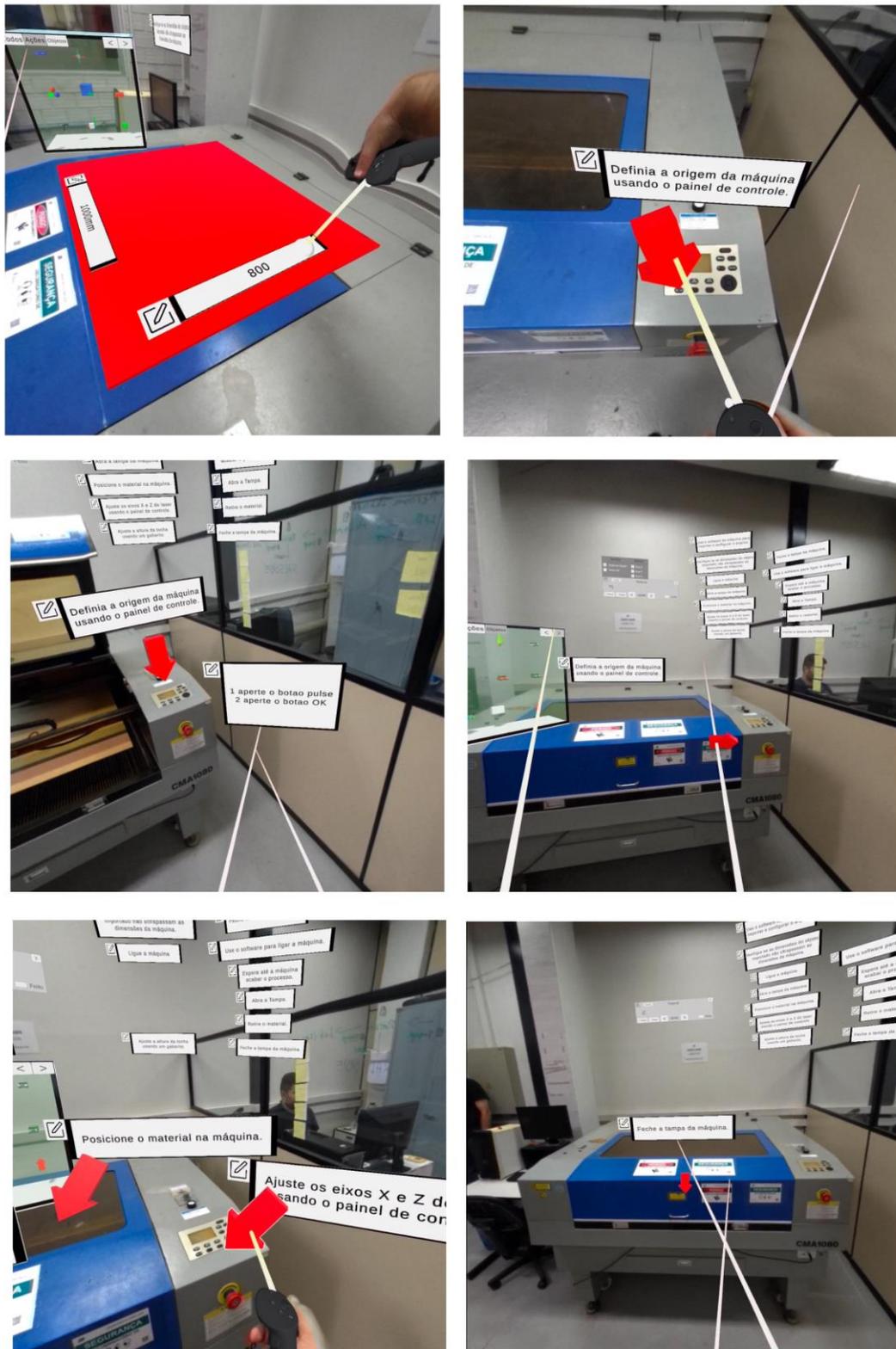


Figura 43: Exemplos de cenas montadas pelos participantes do experimento 2 (1).

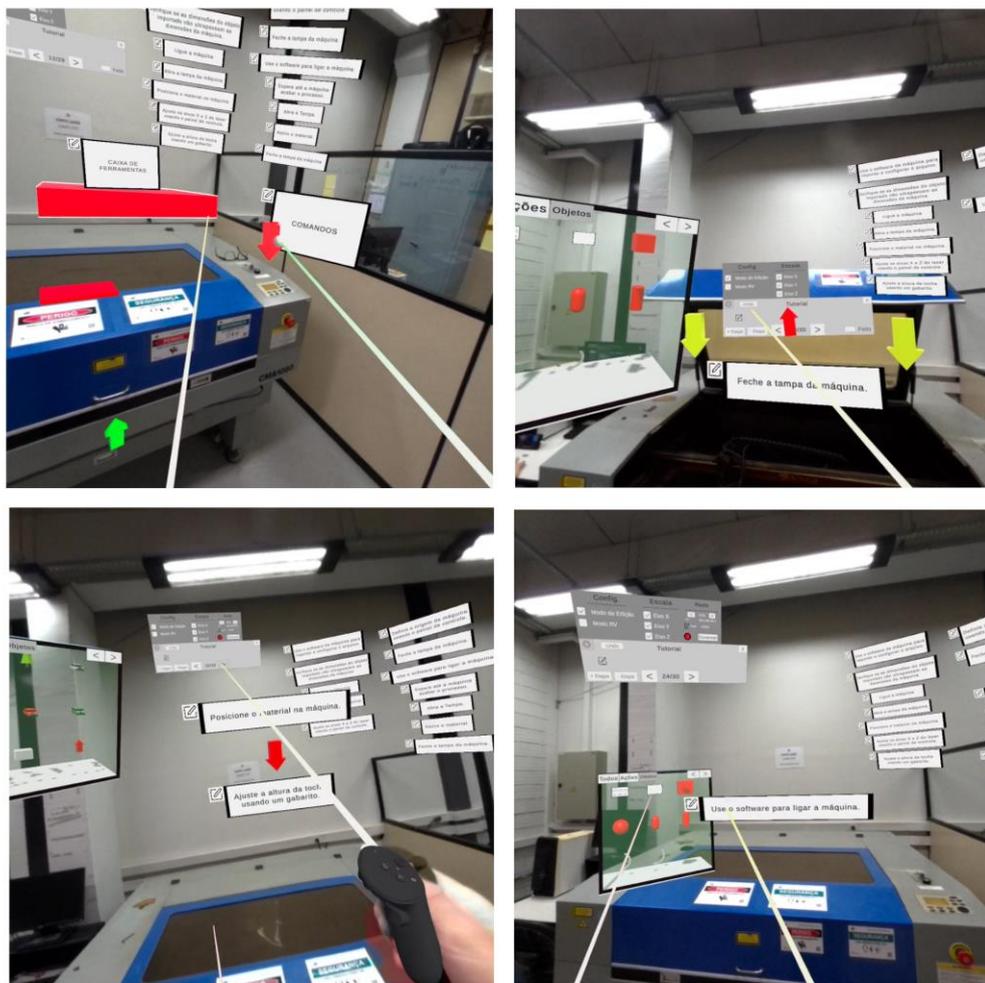


Figura 44: Exemplos de cenas montadas pelos participantes do experimento 2 (2).

8 Conclusão

Nesse trabalho, foi implementado e avaliado um framework para a criação de treinamentos de tarefas manuais com Realidade Virtual e Aumentada.

A definição dos recursos/funcionalidades a serem incluídos no framework foi realizada através de uma pesquisa na literatura por aplicações de treinamentos em RV e RA aplicadas a treinamento de tarefas manuais. Com base nestes trabalhos, os recursos mais presentes nas aplicações foram:

- Interação com objetos virtuais;
- Perfis de usuário;
- Definição de uma sequência de etapas;
- Rastreamentos de Mãos;
- Rastreamento de objetos reais;
- Suporte a arquivos multimídia;
- Modos de visualização em RV e RA.

Após a identificação desses recursos, um framework foi descrito para permitir a criação e uso de treinamentos de tarefas manuais imersivos em Realidade Virtual e Aumentada. Para validar esse framework, um protótipo foi implementado e testado com dois grupos de usuários. O primeiro grupo criou um treinamento não especializado no qual era preciso modelar um tutorial de uso de uma cafeteira. O segundo conjunto de testes foi realizado com usuários especialistas na operação de uma máquina de corte a LASER.

Após a coleta de opiniões e análise dos resultados dos participantes dos experimentos, as funcionalidades definidas como essenciais foram:

- Interação com objetos virtuais, para permitir a criação de instruções utilizando objetos virtuais;
- Possibilidade de diferenciar perfis de usuários para restringir as possíveis ações dos usuários que iram criar ou usar um treinamento;
- Definição de uma sequência de etapas, para permitir uma definição de passo a passo no treinamento;
- Suporte a arquivos multimídia, para permitir o uso de arquivos personalizados para o treinamento;

- Suporte a Modos de visualização de Realidade Virtual para permitir treinamento nos casos em que o usuário não tem acesso ao objeto/ambiente real, ou em Realidade Aumentada, para quando se tem acesso ao objeto/ambiente real.

As demais funcionalidades definidas para o framework, como o rastreamento, alinhamento, persistência e oclusão de objetos e rastreamento de mãos não foram apresentadas nos experimentos com o protótipo por serem complexas demais para serem explicadas em apenas uma sessão de testes. Neste sentido, novos testes deverão ser realizados, buscando usuários que aceitem participar de sessões longas de teste.

Durante os experimentos, foi observado que os especialistas no uso da máquina de corte a LASER apresentaram uma certa dificuldade de elaborar as instruções com objetos 3D em comparação aos usuário do Experimento 1. Isso pode ter ocorrido pela inexperiência dos participantes com RV/RA ou também pela abordagem utilizada para ensinar os recursos do protótipo. Em trabalhos futuros, essa abordagem deverá ser revisada para considerar essa dificuldade em compreender e aplicar conceitos de RV/RA em um curto espaço de tempo, como feito neste trabalho.

Outro ponto importante a ser ressaltado é que este trabalho abordou construção de treinamentos, mas não efetividade destes como ferramenta de aprendizado, tarefa que está sendo incluída nos trabalhos futuros deste projeto. De modo geral, o framework apresentou bons resultados nas questões de conforto, facilidade de aprendizado e uso e no engajamento gerado no processo de criação dos treinamentos, podendo incentivar os instrutores a montarem mais exemplos visuais para auxiliar os aprendizes.

Referências

- Agati, S. S., Bauer, R. D., Hounsell, M. d., & Paterno, A. S. (2020). Augmented Reality for Manual Assembly in Industry 4.0: Gathering Guidelines. *Symposium on Virtual and Augmented Reality* (pp. 179-188).
- Agrawal, R., & Pillai, J. S. (2020). Augmented Reality Application in Vocational Education: A Case of Welding Training. *Conference on Interactive Surfaces and Spaces* (pp. 23–27).
- An, S., Kim, Y., Jung, G., Jang, H., Song, C., & Ma, B. (2019). Development of Chemical Incident Response Training Program by Applying Virtual Reality Technology. *International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations* (pp. 6-10).
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Barsom, E., Graafland, M., & Schijven, M. (2016). Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. *Surgical Endoscopy*, 30(10), 4174-4257.
- Bastos, A., Pinto, A., Ribeiro, S., Ferreira, L., Reis, F., & Chayel, M. (2021). Copelia: Wearable Augmented Reality Application for Training and Maintenance of Reclosers. *Augmented Human International Conference* (pp. 1-4).
- Bhattacharya, B., & H. Winer, E. (2019). Augmented reality via expert demonstration authoring (AREDA). *Computers in Industry*, 105(1), 61-79.
- Blattgerste, J., Renner, P., & Pfeiffer, T. (2019). Authorable Augmented Reality Instructions for Assistance and Training in Work Environments. *International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (pp. 1-11).
- Bolt, R. A. (1980). "Put-that-there": Voice and gesture at the graphics interface. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 14(3), 262-270.
- Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284-310.

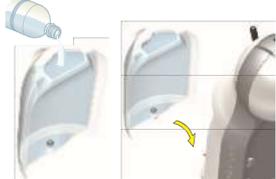
- Brooke, J. (1996). SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. *Usability Evaluation In Industry* (Vol. 1, p. 6). CRC Press.
- Cai, S., Zhou, Y., Shen, J., Guo, J., Xiong, X., & Jiang, X. (2022). Augmented Reality Based Surgical Training and Education System for Neurosurgery. *International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics* (pp. 678-681).
- Cannavò, A., Praticò, F. G., Ministeri, G., & Lamberti, F. (2018). A Movement Analysis System Based on Immersive Virtual Reality and Wearable Technology for Sport Training. *International Conference on Virtual Reality* (pp. 26-31).
- Cao, Y., Qian, X., Wang, T., Lee, R., Huo, K., & Ramani, K. (2020). An Exploratory Study of Augmented Reality Presence for Tutoring Machine Tasks. *Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–13).
- Cardoso, L. F., Mariano, F. C., & Zorzal, E. R. (2020). A survey of industrial augmented reality. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 1-12.
- Carruth, D. W. (2017). Virtual reality for education and workforce training. *International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications* (pp. 1-6).
- Cassola, F., Pinto, M., Mendes, D., Morgado, L., Coelho, A., & Paredes, H. (2021). A Novel Tool for Immersive Authoring of Experiential Learning in Virtual Reality. *Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops* (pp. 44-49).
- Cecil, J., Gupta, A., Pirela-Cruz, M., & Ramanathan, P. (2018). A Network-Based Virtual Reality Simulation Training Approach for Orthopedic Surgery. *Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 14(3), 1-21.
- Chrisosthemos T., V., S. Mantovani, C., Cardoso, A., dos Santos, C. A., & S. Pinho, M. (2023). Immersive Modeling Framework for Training Applications. *International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 277-279).

- Gangabissoon, T., Bekaroo, G., & Moedeen, W. (2020). Application of Augmented Reality in Aviation: Improving Engagement of Cabin Crew during Emergency Procedures Training. *International Conference on Intelligent and Innovative Computing Applications* (pp. 1-8).
- Heinz, M., Buttner, S., & Rocker, C. (2019). Exploring Training Modes for Industrial Augmented Reality Learning. *Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference* (pp. 398–401).
- Jeon, S.-G., Han, J., Jo, Y., & Han, K. (2019). Being More Focused and Engaged in Firefighting Training: Applying User-Centered Design to VR System Development. *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 1-11).
- Koutitas, G., Smith, K. S., Lawrence, G., Metsis, V., Stamper, C., Trahan, M., & Lehr, T. (2019). A Virtual and Augmented Reality Platform for the Training of First Responders of the Ambulance Bus. *ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 299–302).
- Linn, C., Bender, S., Prosser, J., Schmitt, K., & Werth, D. (2017). Virtual remote inspection — A new concept for virtual reality enhanced real-time maintenance. *International Conference on Virtual System & Multimedia* (pp. 1-6).
- Ma, M., Fallavollita, P., Seelbach, I., Von Der Heide, A., Euler, E., Waschke, J., & Navab, N. (2016). Personalized augmented reality for anatomy education. *Clinical Anatomy*, 29(4), 446-453.
- Marques, B., Silva, S., Rocha, A., Dias, P., & Santos, B. S. (2021). Remote Asynchronous Collaboration in Maintenance scenarios using Augmented Reality and Annotations. *Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops* (pp. 567-568).
- Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 549-559.
- Mostajeran, F., Steinicke, F., Ariza Nunez, O. J., Gatsios, D., & Fotiadis, D. (2020). Augmented Reality for Older Adults: Exploring Acceptability of

- Virtual Coaches for Home-Based Balance Training in an Aging Population. *Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–12).
- Munzer, B., Khan, M., Shipman, B., & Mahajan, P. (2019). Augmented Reality in Emergency Medicine: A Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, 21(4), 17-21.
- Ortega-Moody, J., Islas, Y. C., Howell, L., Jenab, K., & Russ, V. (2021). Design of A Virtual Reality Scenario and Scent Generator for Sensory Training. *International Symposium on Computer Science and Intelligent Control* (pp. 1-6).
- Rahman, M. A., Mahmud, P., & Mashuk, M. S. (2013). Augmented and Virtual Reality based approaches in Minimally Invasive Surgery training. *International Conference on Informatics, Electronics and Vision* (pp. 1-4).
- Schmalstieg, D., & Hollerer, T. (2016). *Augmented reality: principles and practice*. Addison-Wesley Professional.
- Sharma, R., & Villányi, B. (2022). The fundamentals and strategies of maintenance, repair, and overhaul (MRO) in Industry 4.0. *International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies* (pp. 1-6).
- Sim, Z. H., Chook, Y., Hakim, M. A., Lim, W. N., & Yap, K. M. (2019). Design of Virtual Reality Simulation-based Safety Training Workshop. *International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games* (pp. 1-6).
- Stanescu, A., Mohr, P., Schmalstieg, D., & Kalkofen, D. (2022). Model-Free Authoring by Demonstration of Assembly Instructions in Augmented Reality. *Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(11), 3821-3831.
- Thomas, R. G., John, N. W., & Delieu, J. M. (2010). Augmented reality for anatomical education. *Journal of visual communication in medicine*, 33(1), 6–15.
- Tori, R., & Kirner, C. (2006). *Fundamentos de Realidade Virtual*. Porto Alegre: SBC.

- Winther, F., Ravindran, L., Svendsen, K. P., & Feuchtner, T. (2020). Design and Evaluation of a VR Training Simulation for Pump Maintenance. *Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces* (pp. 1-8).
- Yigitbas, E., Heindörfer, J., & Engels, G. (2019). A Context-Aware Virtual Reality First Aid Training Application. *Mensch-und-Computer* (pp. 885-888).
- Yuan, S., Xu, J., Zhou, Y., & Li, J. (2023). Design and Application of A Maintenance Training System based on Virtual Reality. *Asia Conference on Electrical, Power and Computer Engineering* (pp. 84-87).
- Zhu, E., Lilienthal, A., Shluzas, L., Masiello, I., & Zary, N. (2015). Design of Mobile Augmented Reality in Health Care Education: A Theory-Driven Framework. *JMIR Medical Education*, 1(2), 1-18.

Apêndice A – Passo a passo – Experimento 1

		
<p>Lavar e enxaguar bem o reservatório de água. Encher o reservatório com água potável fresca. Colocar a tampa e instalar o reservatório na máquina.</p>	<p>Ligar a máquina. A luz indicadora do botão liga/desliga começa a piscar durante o período de aquecimento da máquina (30 segundos). Depois, a luz indicadora verde acende e a máquina está pronta para a utilização.</p>	<p>Abrir a alavanca de perfuração. Colocar a cápsula e encaixar o suporte no local indicado. Abaixar a alavanca de perfuração.</p>
		
<p>Defina o volume da bebida com o seletor seguindo a recomendação indicada na cápsula, ou prepare-a de acordo com o seu próprio gosto.</p>	<p>Mova a alavanca para a direita para bebidas quentes e para a esquerda para bebidas frias. A preparação da bebida se inicia. Espere até que a alavanca retorne para a posição neutra e a extração pare.</p>	<p>Após a preparação da bebida, a luz indicadora vermelha pisca durante cerca de 10 segundos. Durante este ciclo, não abrir a alavanca de perfuração!</p>
		
<p>Retirar a xícara do suporte. Abrir a alavanca de perfuração.</p>	<p>Retirar o suporte para cápsula e remover a cápsula usada. Descartar a cápsula.</p>	<p>Enxaguar e secar o suporte para cápsula (enxaguar com água de ambos os lados). Colocá-lo novamente na máquina. Deguste sua deliciosa bebida!</p>

Apêndice B – Passo a Passo – Experimento 2

1. Use o software da máquina para importar e configurar o arquivo;
2. Verifique se as dimensões do objeto importado não ultrapassam as dimensões da máquina;
3. Abra a tampa da máquina;
4. Posicione o material na máquina;
5. Ajuste os eixos X e Z do laser usando o painel de controle;
6. Ajuste a altura da tocha usando um gabarito;
7. Defina a origem da máquina usando o painel de controle;
8. Feche a tampa da máquina;
9. Use o software para ligar a máquina;
10. Espere até a máquina acabar o processo;
11. Abra a Tampa;
12. Retire o material;

Apêndice C – Estrutura de mensagem dos recursos Rastreamento de Objetos

[id, event, args_type, args]

id (*string*) = Identificador do objeto na cena

event (*string*) = Identificador do atributo a ser alterado

args_type (*Lista de strings*) = Lista com os tipos de dados dos argumentos

args (*Lista de strings*) = Lista com os argumentos do evento, em *strings*

Apêndice D – Aprovação do projeto no CEP

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DO RIO GRANDE
DO SUL - PUC/RS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Criação Imersiva de Roteiros para Treinamentos de Tarefas Manuais

Pesquisador: Marcio Sarrogia Pinho

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 75192123.5.0000.5336

Instituição Proponente: UNIÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO E ASSISTENCIA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.530.910

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2203574.pdf, de 22/11/2023).

INTRODUÇÃO: A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que permite a inserção de elementos 3D na exibição de ambientes reais através de uma câmera. A Figura 1 apresenta um exemplo de aplicação de Realidade Aumentada, onde um modelo 3D de uma seta é exibido para indicar um objeto real. As aplicações de Realidade Aumentada voltadas à educação ganharam visibilidade nos últimos anos devido ao fato de suas características proporcionarem um desempenho igual ou superior no processo de aprendizagem em comparação com os métodos tradicionais, como mostram alguns estudos na área (Barsom, Graafland, & Schijven, 2016; Heinz, Buttner, & Rocker, 2019; Munzer, Khan, Shipman, & Mahajan, 2019; Zhu, Lilienthal, Shluzas, Masiello, & Zary, 2015). Na Medicina, por exemplo, aplicações voltadas ao aprendizado da anatomia humana, como a visualização 3D de imagens de tomografias computadorizadas de partes específicas do corpo, como tronco e cérebro, possuem efetividade na educação equivalentes às formas tradicionais de ensino e uma melhora significativa no interesse e participação dos envolvidos, em especial se for possível sobrepor a imagem ao corpo do próprio paciente (Ma, et al., 2016; Moro, Štromberga, Raikos, & Stirling, 2017; Thomas, John, & Delieu, 2010). Na área da Indústria, por sua vez, existem

Endereço: Av. Ipiranga, nº 6681, Prédio 50, sala 703
Bairro: Partenon **CEP:** 90.619-900
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3320-3345 **Fax:** (51)3320-3345 **E-mail:** cep@puccs.br

Continuação do Parecer: 6.530.910

vários projetos, tanto acadêmicos quanto profissionais, voltados à capacitação para o manuseio de máquinas (Cao, et al., 2020; Heinz, Buttner, & Rocker, 2019). Esses projetos, em geral, possuem um modelo 3D da máquina e outros elementos gráficos como imagens, vídeo ou animações para auxiliar o operador no treinamento ou manutenção, gerando um ganho na efetividade e acurácia da tarefa junto com uma maior compreensão do processo pelo operador (Bottani & Vignali, 2019). Nesta área, conhecida como Maintenance, Repair, and Overhaul(MRO) (Sharma & Villányi, 2022), o usuário pode utilizar um capacete ou uma câmera que capta as imagens do mundo real e sobre estas imagens inserem-se elementos 3D como uma chave de fenda ou um alicate no campo de visão do usuário, podendo passar instruções de qual ferramenta utilizar ou onde aplica-la (Bhattacharya & H. Winer, 2019; Cassola, et al., 2021; Marques, Silva, Rocha, Dias, & Santos, 2021). Mesmo haja um grande interesse em aplicações de treinamento para processos manuais, evidenciado pelas diversas aplicações de RA desenvolvidas para este fim (Rahman, Mahmud, & Mashuk, 2013; Yuan, Xu, Zhou, & Li, 2023; Linn, Bender, Prosser, Schmitt, & Werth, 2017; Cassola, et al., 2021; Carruth, 2017), a criação destas aplicações apresenta alguns problemas: • Falta de ferramentas genéricas: embora existam similaridades entre as aplicações, em especial a existência de um roteiro de atividades que devem ser cumpridas, a utilização de ferramentas e a necessidade de acionamento de chaves e botões, os projetos são focados apenas em sua área de interesse, não oferecendo uma forma eficiente de gerar conteúdo para outras áreas; • Necessidade de Programação: o desenvolvimento é realizado de forma ad-hoc, baseado em programação, o que inibe este desenvolvimento por parte de especialistas do domínio; • Utilização de Ferramentas 2D: embora os processos manuais sejam executados em 3D, sua criação é, em geral, feita em editores 2D, dificultando que o desenvolvimento da aplicação seja feito no local do treinamento. Editores 2D permitem a criação de ambientes de treinamento sem exigir conhecimento de programação por parte do especialista. Contudo, utilizar mouse e teclado para posicionar objetos 3D ao redor de objetos reais pode ser uma tarefa difícil se as técnicas de interação não forem implementadas corretamente. Ações simples como rotacionar e posicionar uma seta 3D para apontar em algum local de uma máquina real pode exigir do especialista utilizar vários comandos e atalhos que sobrecarregam o processo de criação do treinamento. Utilizar uma abordagem imersiva na elaboração dos treinamentos possibilita a criação de tarefas com modelos 3D específicos do problema ou objetos primitivos para construir representações simples sobre o objeto real. Com uma interação simples e natural, posicionando os elementos com controles nos locais corretos, o processo de criação se tornará mais fácil para o especialista, que não precisaram ter conhecimentos de programação, e não exigirá muito conhecimentos do aprendiz que irá consumir

Endereço: Av. Ipiranga, n° 6681, Prédio 50, sala 703
Bairro: Partenon **CEP:** 90.619-900
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3320-3345 **Fax:** (51)3320-3345 **E-mail:** cep@pucrs.br

Continuação do Parecer: 6.530.910

a aplicação. Por estas razões, acredita-se que a definição de uma metodologia que identifique os elementos e etapas de um processo de treinamento, sem focar em uma área ou situação específica, poderá permitir a criação de uma ferramenta de montagem de roteiros genérica, aplicável em diversas áreas. Acredita-se também que o uso de um editor imersivo pode permitir que um especialista de domínio crie seu roteiro sem a necessidade de programação. Com base neste cenário, este trabalho pretende definir uma metodologia que identifique as ações tomadas em um treinamento de uma tarefa manual qualquer em um ambiente imersivo de Realidade Virtual e Aumentada. Nesse ambiente, o especialista poderá criar sessões de treinamento referentes a qualquer assunto de interesse e inserir elementos virtuais no cenário ou em torno do objeto alvo para guiar o aprendiz a completar a tarefa. Utilizar essa metodologia em uma aplicação de RV/RA imersiva pode facilitar o desenvolvimento de treinamento com especialistas e aumentar o aprendizado e desempenho dos aprendizes que consumiriam o treinamento.

HIPÓTESE: O uso de Realidade Virtual e Aumenta em um ambiente imersivo permite a criação de treinamento para tarefas manuais sem a necessidade de programação.

METODOLOGIA: O estudo compreende sessão única e individual com duração total aproximada de 85 minutos. O participante pode solicitar que o estudo seja paralisado para descanso caso sinta necessidade. Foi estabelecido um limite máximo de duração de 100 minutos, momento em que a sessão seria interrompida. A pesquisa será realizada no Oficina de Engenharia da Escola de Engenharia do Prédio 30. A sessão pode ser remarcada caso exista concordância e disponibilidade do participante. **ETAPAS**1. O participante irá entrar em contato por e-mail para agendar a pesquisa. Esse agendamento também poderá ser feito diretamente através de um calendário compartilhado.2. O participante será instruído por e-mail a encontrar o investigador na sala XXX do prédio 30, na oficina de Engenharia. Também será enviada uma cópia do formulário de consentimento por e-mail, para que o participante possa apreciar o conteúdo previamente.3. Ao encontrar o investigador, o participante deverá ler e assinar o formulário de consentimento, tarefa a ser realizada em uma sala de acesso restrito e uso exclusivo para o estudo. Esta etapa deve durar cerca de 5 minutos.4. O participante será solicitado a preencher um questionário de caracterização, com perguntas como idade, escolaridade, experiência com modelagem, etc. Esta etapa deve durar cerca de 5 minutos.5. O participante será introduzido ao equipamento que ele irá utilizar durante o experimento, incluindo o Head-Worn-Display (HWD) de RA, e um controle de mão (joystick). O HWD utilizado será o Meta Quest Pro e seus controles. Esta etapa deve durar

Endereço: Av. Ipiranga, n° 6681, Prédio 50, sala 703
Bairro: Partenon **CEP:** 90.619-900
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3320-3345 **Fax:** (51)3320-3345 **E-mail:** cep@pucls.br

Continuação do Parecer: 6.530.910

cerca de 5 minutos.6. O participante será solicitado a colocar o HWD e se familiarizar com a aplicação através de um treinamento. Ele será solicitado a testar os modos de interação da aplicação, como criar, mover, e clonar algumas primitivas. Primitivas aqui são definidas como objetos 3D acessados por uma biblioteca de objetos virtual. Durante esta etapa, o protocolo “pense em voz alta” será utilizado, e o áudio será gravado. “Pense em voz alta” significa que o participante vai ser solicitado a dizer em voz alta o que ele está fazendo ou pensando durante a interação. Esta etapa deve durar cerca de 25 minutos. 7. Após a parte de treinamento, o participante será introduzido a tarefa do estudo, que é similar ao que ele fez na parte de treinamento, nominalmente projetar um passo a passo no treinamento de um equipamento de seu conhecimento utilizando as primitivas e modos de interação disponíveis. O participante irá construir 3 treinamentos, sendo eles: A troca de memória RAM de um computador Desktop; Trocar o pneu de um bicicleta; e configurar um Torno Mecânico para um processo de usinagem de material. Esta etapa deve durar cerca de 40 minutos.8. Após as tarefas serem concluídas, o participante será solicitado a responder um questionário final para expressar a sua percepção e pensamentos a respeito da aplicação. Esta etapa deve durar cerca de 5 minutos.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO: Participantes serão recrutados no campus universitário, todos com idade superior a 18 anos. Estudantes, professores e profissionais com formação em engenharia ou semelhante serão aceitos. Os participantes deverão ter visão normal (corrigida ou não corrigida), movimentação normal das mãos e dos dedos, e capacidade de caminhar ou ficar em pé normalmente. Não existe qualquer tipo de exclusão baseada em gênero ou etnia. Essas características foram escolhidas por determinados motivos. É necessária a formação em engenharia ou semelhante visto que a aplicação está sendo desenvolvida para ser utilizada por profissionais em atividades manuais, o que requer habilidades como pensamento em 3 dimensões e familiaridade com equipamentos grandes. Os demais motivos são técnicos, baseados em requisitos da aplicação e tarefas a serem desenvolvidas. O participante deve ser capaz de enxergar os objetos virtuais e reais claramente quando estiver usando o HWD, portanto a visão deve ser normal. A interação com o sistema é baseada em um joystick, o que necessita de movimentação normal das mãos e dos dedos. Finalmente, a aplicação requer que o participante se locomova durante o processo de modelagem, visto que o modelo virtual estará alinhado ao mundo real.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo primário proposto pelos pesquisadores é o seguinte: “O objetivo geral desse trabalho é

Endereço: Av. Ipiranga, n° 6681, Prédio 50, sala 703
Bairro: Partenon **CEP:** 90.619-900
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3320-3345 **Fax:** (51)3320-3345 **E-mail:** cep@pucls.br

Continuação do Parecer: 6.530.910

criar uma metodologia que permita a modelagem imersiva de roteiros para treinamentos em tarefas manuais.” Os objetivos secundários são: - Identificar, com base na literatura, as funcionalidades essenciais de uma ferramenta voltada à de criação de roteiros;- Propor uma metodologia para atender às necessidades da criação de roteiros, utilizando RA/RV;- Demonstrar que é possível criar roteiros de forma imersiva”.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os pesquisadores citam os seguintes riscos: “Existem riscos mínimos envolvidos neste estudo. O risco de lesão resultante de quedas é mínimo, porém existente, pois o participante deverá caminhar enquanto utiliza um capacete de realidade virtual. O participante pode sentir cansaço nos olhos, dores de cabeça, náusea, ou outro desconforto durante a sessão provenientes do uso do capacete. O participante vai ser informado dos riscos. Ele será instruído a prestar atenção no ambiente ao seu redor, e o investigador vai monitorar ativamente o ambiente e as ações do participante para reduzir qualquer risco de queda. Nós vamos trabalhar para que a área em questão esteja livre de obstáculos, e o investigador vai alertar o participante para parar caso ele esteja prestes a entrar em uma área com riscos de tropeço ou demais obstáculos. A sessão incorporará paradas para descanso após cada tarefa. O participante ainda pode solicitar paradas extras caso sinta necessidade. Ele também será lembrado que pode desistir a qualquer momento e por qualquer motivo..” Os pesquisadores citam os seguintes benefícios: “O participante terá a chance de experimentar o estado da arte em tecnologia de Realidade Aumentada (RA), incluindo um HWD de RA, e uma forma inovadora de criar treinamentos. A sociedade irá se beneficiar da avaliação formal desta aplicação, que poderá indicar formas mais eficientes de realizar modelagem de treinamentos em ambientes de RA.”

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Sem comentários adicionais.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos foram apresentados.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Trata-se de uma resposta ao parecer consubstanciado CEP n.º 6.501.187 datado em 10/11/2023.

LISTA DE PENDÊNCIAS DO PARECER ANTERIOR:

1) É preciso anexar o questionário que será aplicado aos participantes da pesquisa.

RESPOSTA: PENDÊNCIA ATENDIDA.

2) A carta de encaminhamento enviada precisa ser atualizada de acordo com o modelo disponível

Endereço: Av. Ipiranga, n° 6681, Prédio 50, sala 703
Bairro: Partenon CEP: 90.619-900
UF: RS Município: PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3320-3345 Fax: (51)3320-3345 E-mail: cep@pucls.br

Continuação do Parecer: 6.530.910

no site, pois ela foi endereçada à professora Profa. Dra. Denise Cantarelli Machado, mas a coordenadora atual do Comitê de Ética da PUCRS é a Profa. Dra. Karen Cherubini. Recomenda-se sempre usar a última versão dos documentos disponíveis na página do CEP da PUCRS (<https://www.pucrs.br/pesquisa/comites/cep/resolucoes-466-12-e-510-16/>), pois eles estão atualizados com o nome da coordenadora atual.

RESPOSTA: PENDÊNCIA ATENDIDA.

3) Se possível, anexar o documento unificado do projeto completo, incluindo o documento do projeto. A versão enviada tem apenas a carta de aprovação.

RESPOSTA: PENDÊNCIA ATENDIDA.

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, o CEP-PUCRS, de acordo com suas atribuições definidas na Resolução CNS n° 466 de 2012, Resolução n° 510 de 2016 e da Norma Operacional n° 001 de 2013 do CNS, manifesta-se pela aprovação do projeto de pesquisa "Criação Imersiva de Roteiros para Treinamentos de Tarefas Manuais" proposto pelo pesquisador Marcio Sarroglia Pinho com número de CAAE 75192123.5.0000.5336.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2203574.pdf	22/11/2023 08:20:28		Aceito
Outros	carta_resposta_pendencias_2023_v1.pdf	22/11/2023 08:19:44	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Outros	Questionario.docx	22/11/2023 08:19:03	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Cronograma	9_Cronograma.docx	22/11/2023 08:18:27	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	4_Projeto_de_Pesquisa_V4.docx	22/11/2023 08:18:21	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Orçamento	6_Orçamento_V1.docx	22/11/2023 08:18:15	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Outros	Documento_Unificado_do_Projeto_de	22/11/2023	VINICIUS	Aceito

Endereço: Av. Ipiranga, n° 6681, Prédio 50, sala 703
Bairro: Partenon CEP: 90.619-900
UF: RS Município: PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3320-3345 Fax: (51)3320-3345 E-mail: cep@pucrs.br

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DO RIO GRANDE
DO SUL - PUC/RS



Continuação do Parecer: 6.530.910

Outros	_Pesquisa_1700588811855.pdf	08:17:51	CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	4_Projeto_de_Pesquisa_V4.pdf	22/11/2023 08:17:00	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Outros	1_CartaEncaminhamento_V1_assinado. pdf	22/11/2023 08:16:40	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Orçamento	6_Orçamento_V1.pdf	22/11/2023 08:15:01	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Cronograma	9_Cronograma.pdf	22/11/2023 08:14:46	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Outros	8_Carta_de_anuencia_2023_v1.pdf	25/10/2023 08:47:44	CATIA REGIANE DA SILVA ASSINK	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	17/10/2023 09:20:37	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Outros	6_Links_Curriculos_Lattes_V1.pdf	17/10/2023 08:19:37	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	3_TCLE_V1.pdf	17/10/2023 08:11:54	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito
Declaração de concordância	2_Carta_de_anuencia_V1.pdf	17/10/2023 08:11:01	VINICIUS CHRISOSTHEMOS TEIXEIRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PORTO ALEGRE, 24 de Novembro de 2023

Assinado por:
Karen Cherubini
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Ipiranga, n° 6681, Prédio 50, sala 703
Bairro: Partenon CEP: 90.619-900
UF: RS Município: PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3320-3345 Fax: (51)3320-3345 E-mail: cep@pucrs.br



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Av. Ipiranga, 6681 – Prédio 1 – Térreo
Porto Alegre – RS – Brasil
Fone: (51) 3320-3513
E-mail: propesq@pucrs.br
Site: www.pucrs.br