

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA

ADRIANO BEZERRA

**REALIDADE AUMENTADA PARA APRENDIZAGEM DE DESENHO
TÉCNICO – DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA
HYPERGEOAR**

Bauru/SP

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA

ADRIANO BEZERRA

**REALIDADE AUMENTADA PARA APRENDIZAGEM DE DESENHO
TÉCNICO – DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA
HYPERGEOAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Campus de Bauru, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Mídia e Tecnologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente.

Bauru/SP

2024

B574r

Bezerra, Adriano

REALIDADE AUMENTADA PARA APRENDIZAGEM DE
DESENHO TÉCNICO – DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO
DA FERRAMENTA HYPERGEOAR / Adriano Bezerra. -- Bauru,
2024

145 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru

Orientadora: Vânia Cristina Pires Nogueira Valente

1. Experiência do Usuário. 2. Realidade Aumentada. 3. Desenho
Técnico. 4. 3D. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru.

Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ADRIANO BEZERRA

**REALIDADE AUMENTADA PARA APRENDIZAGEM DE DESENHO
TÉCNICO – DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA
HYPERGEOAR**

Área de Concentração: Ambientes Midiáticos e Tecnológicos.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Midiáticas.

BANCA EXAMINADORA:

Presidente/Orientador: Profa Dra. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente
Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design – UNESP Bauru/SP

Prof. Dr. Renato Correia de Barros
Instituto Federal de Birigui – SP.

Profa. Dra. Adriana de Bortoli
Faculdade de Tecnologia Prof. Antônio Seabra – Lins – SP

SUPLENTES:

Prof. Dr. Adriano de Souza Marques
Instituto Federal de Birigui – SP.

Prof. Dr. Mário Henrique de Souza Pardo
Faculdade de Tecnologia de Rio Preto – São José do Rio Preto – SP



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA


Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE ADRIANO BEZERRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN.

Aos 27 dias do mês de maio do ano de 2024, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de ADRIANO BEZERRA, intitulada **Realidade Aumentada para aprendizagem de desenho técnico - desenvolvimento e validação da ferramenta HypergeoAR**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professora Associada VÂNIA CRISTINA PIRES NOGUEIRA VALENTE (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Artes e Representação Gráfica da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design / Universidade Estadual Paulista, Professora Doutora ADRIANA DE BORTOLI (Participação Virtual) do(a) Faculdade de Tecnologia de Lins / Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Professor Doutor RENATO CORREIA DE BARROS (Participação Virtual) do(a) Computação / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Birigui. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: **APROVADO**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Professora Associada VÂNIA CRISTINA PIRES NOGUEIRA VALENTE

Documento assinado digitalmente
 VÂNIA CRISTINA PIRES NOGUEIRA VALENTE
Data: 27/05/2024 21:03:23-0300
Verifique em <https://validar.idi.gov.br>

AGRADECIMENTO

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus, por iluminar minha jornada, fortalecer minha fé e guiar meus passos ao longo deste caminho desafiador e enriquecedor que é o doutorado.

Sou imensamente grato à minha família, em especial a minha noiva, pelo apoio incondicional, amor e paciência nos momentos mais intensos desta jornada. Agradeço também aos meus pais, minhas irmãs, minha sogra e a todos os familiares, cujo constante incentivo foram essenciais para a minha persistência e sucesso.

Um especial agradecimento a minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, cuja sabedoria, paciência e rigor acadêmico não apenas me direcionaram, mas também inspiraram a excelência em meu trabalho. Agradeço também a todos os docentes do programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Unesp de Bauru cujas disciplinas me auxiliaram e enriqueceram minha pesquisa.

Agradeço também aos meus colegas de trabalho, meu diretor Luciano por me permitir viajar para Bauru quando necessário, professores Anderson, Fábio, André, Sandro, Eduardo, Adriana, Luciane, Felipe, Mário e Alexandre que por várias vezes me encorajaram a não desistir desse sonho e trocar experiências que fortaleceu a base de conhecimento que busquei expandir com minha pesquisa.

Aos meus alunos e colegas de profissão, Juliel, André, Cristiane e Paula agradeço pelo apoio nas pesquisas, artigos e no desenvolvimento.

Aos meus amigos, agradeço a compreensão, paciências pelas faltas aos encontros e quando consegui comparecer, agradeço pelos momentos de descontração que foram cruciais para manter o equilíbrio durante este período. Vocês foram meu refúgio e minha alegria nos momentos de pausa necessária.

Este trabalho não seria possível sem a colaboração, o apoio e o incentivo de cada um de vocês. A todos, meu sincero obrigado.

BEZERRA, ADRIANO. **Realidade Aumentada para aprendizagem de desenho técnico – desenvolvimento e validação da ferramenta HypergeoAR**. 2024. 132f. Tese de Doutorado – FAAC – UNESP, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, Bauru, 2024.

RESUMO

Esta tese investiga a aplicabilidade da Realidade Aumentada (RA) no auxílio à aprendizagem de Desenho Técnico (DT). Diante dos desafios impostos pela pandemia de Covid-19, que exigiram rápidas adaptações para o ensino digital, surgiu a demanda por inovações tecnológicas que facilitassem o aprendizado, especialmente em disciplinas que requerem intensa visualização espacial, como as ciências exatas. Assim, o trabalho dedica-se ao desenvolvimento e à avaliação do HypergeoAR, visando auxiliar na compreensão dos conceitos de DT por meio da visualização interativa de peças 3D. A pesquisa inclui uma análise crítica de ferramentas de RA existentes, destacando a inovação e os impactos positivos no processo de aprendizagem, mas também apontando para a escassez de recursos acessíveis e de código aberto para a comunidade educacional. Adicionalmente, técnicas de Experiência do Usuário (UX) são adaptadas e heurísticas personalizadas aplicadas para avaliar a eficácia do HypergeoAR entre os alunos. Os resultados da avaliação do HypergeoAR por parte dos alunos indicam emoções positivas e uma contribuição significativa no auxílio da compreensão dos conceitos de DT, alinhando o projeto com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e enfatizando seu potencial para promover uma educação mais inclusiva e inovadora. A conclusão destaca a relevância da RA na educação contemporânea, sobretudo auxiliando o ensino de DT.

Palavras-chave: Experiência do Usuário, Realidade Aumentada, Desenho Técnico, 3D.

BEZERRA, ADRIANO. *Augmented Reality for learning technical drawing – development and validation of the HypergeoAR tool*. 2024. 132f. Doctoral Thesis – FAAC – UNESP, under the guidance of Prof. Dr. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, Bauru, 2024.

ABSTRACT

This thesis investigates the applicability of Augmented Reality (AR) in helping to learn Technical Drawing (DT). Faced with the challenges posed by the Covid-19 pandemic, which required rapid adaptations to digital teaching, the demand for technological innovations that facilitate learning arose, especially in subjects that require intense spatial visualization, such as exact sciences. Therefore, the work is dedicated to the development and evaluation of HypergeoAR, aiming to assist in the understanding of DT concepts through the interactive visualization of 3D parts. The research includes a critical analysis of existing AR tools, highlighting innovation and positive impacts on the learning process, but also pointing to the scarcity of accessible and open source resources for the educational community. Additionally, User Experience (UX) techniques are adapted and personalized heuristics applied to evaluate the effectiveness of HypergeoAR among students. The results of the HypergeoAR evaluation by students indicate positive emotions and a significant contribution in helping to understand DT concepts, aligning the project with the UN Sustainable Development Goals (SDGs) and emphasizing its potential to promote more inclusive education and innovative. The conclusion highlights the relevance of AR in contemporary education, especially in assisting the teaching of DT.

Keywords: User Experience, Augmented Reality, Technical Drawing, 3D.

IMPACTOS SOCIAIS

A tese apresentada possui impactos sociais consideráveis, notadamente nos âmbitos educacional e tecnológico, refletindo diretamente nas metas 4.4 e 9.5 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Essas contribuições evidenciam o potencial da tese em fomentar um desenvolvimento sustentável de forma global.

Em relação à Meta 4.4, que visa aumentar substancialmente até 2030 o número de jovens e adultos com habilidades relevantes para emprego, trabalho decente e empreendedorismo, esta tese potencializa o aprendizado em ciências exatas. Ela possibilita o fortalecimento da compreensão e manipulação de conceitos espaciais e técnicos, alinhando-se com as competências necessárias para o profissional que necessita de uma Visão Espacial (VE) aprimorada. Além disso, ao introduzir uma ferramenta de Realidade Aumentada (RA) no ensino de Desenho Técnico (DT), facilita o acesso à educação de qualidade, promovendo a inclusão e possibilitando o preparo de jovens e adultos para os desafios do mercado de trabalho contemporâneo.

No que diz respeito à Meta 9.5, que foca em aumentar a pesquisa científica e a capacidade tecnológica dos setores industriais, incentivando a inovação e o aumento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a tese contribui para o desenvolvimento de competências técnicas e cognitivas. A utilização da RA no ensino de DT impulsiona a capacidade tecnológica em setores educacionais e industriais. A integração de tecnologias avançadas na educação destaca a importância da inovação, essencial para o avanço da capacidade de pesquisa e desenvolvimento nos países. Adicionalmente, a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias educacionais prepara o terreno para futuras inovações em metodologias de ensino, que estão alinhadas com as necessidades de uma economia baseada no conhecimento e na tecnologia.

Assim, a tese não apenas reforça as competências técnicas e educacionais necessárias na sociedade moderna, mas também promove a inclusão, a inovação e o desenvolvimento sustentável, em consonância com as metas estabelecidas globalmente pela ONU para 2030.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Representação em Perspectiva de um objeto.	25
Figura 2.2. Representação em vistas múltiplas de um objeto.....	26
Figura 2.3 - Representação de páginas web do Hypergeo de 1998.	31
Figura 2.4 - Novo design do site Hypergeo.	31
Figura 3.1. Cartaz de divulgação do Sensorama.....	34
Figura 3.2 - HMD apresentado por Sutherland.....	35
Figura 3.3. Contínuo reality-virtuality de Milgram et al. (1997).....	37
Figura 3.4 - <i>The Super Cockpit</i>	38
Figura 3.5 - Tela do jogo Pokémon Go.	40
Figura 3.6. Crescimento da RA nos principais Mecanismos de Busca Acadêmica...	41
Figura 3.7 - Distribuição de publicações de RV e RA em educação por ano.	42
Figura 3.8 - Crescimento do mercado de software e hardware de RA em bilhões de dólares.	43
Figura 3.9. Exemplo de marcador fiducial.	44
Figura 3.10. Peça virtual sobreposta a um marcador do tipo QR Code.....	45
Figura 3.11 - Tecnologias utilizadas nas aplicações de RA na educação.....	49
Figura 3.12 - Imagem da aplicação DiedricAR sendo executada	54
Figura 3.13 - Projeção das vistas preferenciais da peça na aplicação Augment.	57
Figura 3.14 - Objeto sendo representado na cena com o uso de RA.	59
Figura 3.15 - Tela da aplicação ARIF.....	60

Figura 4.1 - Peça de madeira utilizada nas aulas presenciais da professora Vânia.	64
Figura 4.2 - Imagem do objeto 3D sendo modelado na Blender.	65
Figura 4.3 - Adicionando o EasyAR na Unity.	67
Figura 4.4 - Marcadores vinculados com as peças 3D modeladas.	69
Figura 4.5 - Primeiro protótipo sem botões virtuais.	70
Figura 4.6 – Protótipo dos botões virtuais de rotação do HypergeoAR.	70
Figura 4.7 - Projeto da translação do objeto 3D no eixo x.	71
Figura 4.8 - Simulação da translação do objeto 3D no eixo x.	72
Figura 4.9 - Projeto da interface do HypergeoAR adicionado os botões.	73
Figura 4.10 - Protótipo funcional do HypergeoAR com botões virtuais.	74
Figura 4.11 - Movimento de pinça na tela do aplicativo para a realização da escala do objeto.	74
Figura 4.12 - Áreas de influências do UX Design.	79
Figura 4.13 - Evolução dos problemas de usabilidade identificados de acordo com o aumento dos avaliadores.	84
Figura 4.14 - O menu universal no <i>Oculus</i> comunica o status da bateria do fone de ouvido e de dois controladores.	85
Figura 4.15 – A <i>Immersed</i> usa ambientes equivalentes ao do mundo real, como salas de conferência, quadros brancos e fechaduras, para atender às expectativas dos usuários e aos modelos mentais existentes.	86
Figura 4.16 - O <i>Beat Saber</i> ofereceu um botão <i>Cancelar</i> aos usuários na página de personalização de avatar. Se várias personalizações fossem feitas em uma sessão, os usuários poderiam selecionar o botão <i>Voltar</i> para reverter para o avatar anterior.	

.....	87
Figura 4.17 - O <i>Gravity Sketch</i> não estava em conformidade com o padrão de design convencional para um botão liga-desliga, embora usasse o mesmo design de controle deslizante para botões liga-desliga em todo o aplicativo.	87
Figura 4.18 – o jogo <i>Vader Immortal</i> evitou erros e acidentes alertando os jogadores que definiram um guardião menor que o tamanho recomendado.....	88
Figura 4.19 - O uso de ícones sem rótulos e com dicas de ferramentas pela <i>Oculus</i> sobrecarregou na memória de curto prazo dos usuários.....	88
Figura 4.20 - As modificações de jogo do <i>Beat Saber</i> ofereceram aos jogadores a oportunidade de criar uma experiência de jogo flexível, adaptada às suas necessidades.	89
Figura 4.21 - A página inicial minimalista do <i>YouTube VR</i> foi adaptada às ações primárias do usuário.....	89
Figura 4.22 - A mensagem de erro do <i>Firefox Reality</i> necessitava de diagnóstico ou pedido de ajuda.	90
Figura 4.23 - As páginas de ajuda da <i>Immersed</i> são fáceis de acessar, organizadas e digitalizáveis.....	91
Figura 5.1.1 - Idades dos avaliadores.	104
Figura 5.1.2 - Já utilizou algum aplicativo de Realidade Aumentada (RA) antes do HypergeoAR?	105
Figura 5.1.3 - Qual o tipo de aplicativo?	105
Figura 5.1.4 - O HypergeoAR permite os usuários realizem tarefas de visualização de objetos geométricos 3D de maneira rápida e com poucos passos?	107
Figura 5.1.5 - No HypergeoAR a navegação é intuitiva, permitindo que os usuários realizem facilmente a visualização de objetos 3D?	107

Figura 5.1.6 - O HypergeoAR fornece feedback imediato (objeto responde em tempo real) e visível quando os usuários interagem com objetos 3D?	110
Figura 5.1.7 - Você acredita que o HypergeoAR pode melhorar a sua produtividade na criação das épuras?	111
Figura 5.1.8 - Você acredita que seria interessante ter o HypergeoAR para visualizar os objetos nas aulas em vez de utilizar os blocos de madeira?	111
Figura 5.1.9 - Qual sentimento teve ao utilizar o HypergeoAR?	112
Figura 5.1.10 - Como você classificaria sua satisfação geral com o HypergeoAR ?	113
Figura 5.1.11 - Você recomendaria o uso do HypergeoAR?	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Componentes da Visão Espacial.....	27
Tabela 3.1 - Análise das aplicações de RA	61
Tabela 4.1 – Descrição dos dispositivos que realizaram os testes no HypergeoAR. 75	
Tabela 4.2 - Descrição de uso das heurísticas de Nielsen adaptadas para RA.....	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq:	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DT:	Desenho Técnico
FAAC:	Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
GB:	Gigabytes
GD:	Geometria Descritiva
GHz:	Gigahertz
GPS:	Sistema de Posicionamento Global
HMD:	<i>Head-Mounted Display</i>
HMDs:	<i>Head-Mounted Displays</i>
ISO:	<i>International Organization for Standardization</i>
MP:	Mega Pixels
NMC:	<i>New Media Consortium</i>
ODS:	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU:	Organização das Nações Unidas
QR-Code:	<i>Quick Response Code</i>
RA:	Realidade Aumentada
RAM:	<i>Random Access Memory</i>
RV:	Realidade Virtual
SDKs:	Kit de Desenvolvimento de Software
SO:	Sistema Operacional
TICs:	Tecnologias da Informação e Comunicação
UNESP:	Universidade Estadual Paulista
UX:	Experiência do Usuário
VE:	Visão Espacial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	DESENHO TÉCNICO E VISÃO ESPACIAL	24
2.1	MODOS DE REPRESENTAÇÃO	24
2.2	VISÃO ESPACIAL	26
2.3	DESENHO TÉCNICO NO CURSO DE DESIGN DA UNESP	28
2.4	HYPERGEO	30
2.5	O CENÁRIO PANDÊMICO	32
3	REALIDADE AUMENTADA.....	34
3.1	REALIDADE AUMENTADA NA EDUCAÇÃO	45
3.2	REALIDADE AUMENTADA no contexto de geometria descritiva.....	53
3.3	ANÁLISE DOS TRABALHOS COLETADOS	61
4	DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO DE REALIDADE AUMENTADA PARA O AUXÍLIO DE ATIVIDADES DE DESENHO TÉCNICO - HYPERGEOAR. ..	63
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS PARA O DESENVOLVIMENTO	63
4.1.1	Modelagem dos objetos tridimensionais.	64
4.1.2	Ferramentas e SDKs utilizados.....	65
4.1.3	Prototipação do Aplicativo HypergeoAR	69
4.1.4	Testes de execução em dispositivos.....	75
4.2	VALIDAÇÃO BASEADA EM EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO (UX).....	77
4.2.1	Proposta de adaptação de heurísticas para validação de RA	92

4.2.2	Agrupamento das heurísticas para validação do HypergeoAR.	94
4.2.3	Público-alvo e conteúdo das perguntas.	97
4.2.4	Estrutura e organização.	99
4.2.5	Aplicação do questionário	102
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO DA AVALIAÇÃO	103
5.1	AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	103
5.2	DIAGNÓSTICO DOS 5 CONJUNTOS DE COMPONENTES DE USABILIDADE DAS HEURÍSTICAS DE NIELSEN.....	115
5.3	SUGESTÃO DE MELHORIAS PARA A PRÓXIMA VERSÃO.....	116
6	CONCLUSÕES	119
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
	ANEXO A – LIVRETO.....	137
	ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO	140

1 INTRODUÇÃO

Examinar a aplicação e os impactos das tecnologias emergentes nas duas primeiras décadas do século XXI, especialmente com o advento da pandemia de Covid-19 em 2020, é um desafio para a sociedade moderna e tem se tornado um campo de estudo importante para universidades, governos, corporações, pesquisadores, desenvolvedores, designers e outros profissionais que observam as evoluções constantes trazidas pela tecnologia na educação.

Diante de tantos avanços na tecnologia, cursos tradicionais nas áreas de ciências exatas, como engenharia, arquitetura, design, entre outros que incluem em suas ementas disciplinas envolvendo representações gráficas bidimensionais em espaços tridimensionais (3D), muitas vezes, não acompanham esses avanços tecnológicos em seus processos de ensino e aprendizagem.

Embora os conteúdos específicos sejam cruciais para a formação profissional nesses cursos, é essencial que os alunos desenvolvam habilidades espaciais (Peters et al., 1995; Hsi et al., 1997; Ting, 2001; Prieto e Velasco, 2002; Valente, 2018; Ibáñez e Delgado-Kloos, 2018). A dificuldade em desenvolver a Visão Espacial (VE), uma habilidade fundamental, demonstrada por alguns alunos, representa um desafio para os educadores (Adánez e Velasco, 2002), em particular para aqueles que lecionam disciplinas como Desenho Técnico (DT) e Geometria Descritiva (GD) (Valente, 2018).

Prieto e Velasco (2006) relatam que os alunos que trabalham com DT devem imaginar a aparência dos objetos em diferentes orientações, por exemplo, trasladar representações bidimensionais a um espaço 3D e abstrair como seriam as partes ocultas de um objeto. Segundo Thurstone (1997), a VE é definida como a habilidade que uma pessoa possui de imaginar ou abstrair objetos em duas ou três dimensões.

As dificuldades em disciplinas como GD e DT e a heterogeneidade das turmas motivaram o desenvolvimento de ferramentas computacionais como o site Hypergeo (Valente & Benutti, 1997), softwares tutores como o Ambiente Tutor de Geometria Descritiva (Valente, 2003), softwares de Realidade Virtual (RV) (Seabra e Santos, 2008) e sistemas Estereoscópicos como Santos (2000).

Com o avanço tecnológico e o aumento da capacidade de processamento dos dispositivos móveis, como smartphones, torna-se viável a utilização de tecnologias que facilitam a virtualização de objetos, contribuindo para a diminuição da deficiência da VE dos alunos (Carmigniani e Furht, 2011), uma observação corroborada pelo crescente uso desses aparelhos entre o público universitário. (Chen et al., 2023).

Uma tecnologia emergente que possibilita a visualização de objetos 3D é a Realidade Aumentada (RA), que consiste em um método para sobrepor objetos virtualizados na imagem do ambiente real (Hounsell et al., 2018; Carmigniani e Furht, 2011). A possibilidade de a RA inserir objetos 3D virtualizados no ambiente real da sala de aula, impactam positivamente na dinamização do ensino e aprendizagem, aproximando o aluno do conteúdo apresentado e, desta forma, tende a melhorar seu rendimento acadêmico (Macedo, 2011).

Aplicativos de RA instalados em aparelhos celulares podem ser utilizados como recursos didáticos inovadores permitindo novas possibilidades de ensino e aprendizagem em sala de aula sem impactar a infraestrutura escolar com laboratórios mirabolantes (Cheung e HEW, 2009; Ibáñez e Delgado-Kloos, 2018; Herpich et al., 2019). Contudo, tais recursos serão irrelevantes se a Experiência do Usuário (UX) destes aplicativos não for boa e satisfatória, ou seja, se o usuário não conseguir atingir seus objetivos pré-estabelecidos nos aplicativos de um modo eficiente e eficaz (ISO, 2018).

Um aspecto fundamental desse processo é determinar a UX, que diz respeito à percepção e às respostas do usuário, antes, durante e após o uso de um sistema interativo (Iso, 2010). A UX engloba o conjunto da dinâmica entre o usuário, o produto, a interface e o contexto que lhes rodeia (Garret, 2011).

Segundo Law et al. (2014), as avaliações de UX medem características subjetivas da interação de um usuário, usando metodologias qualitativas e quantitativas. Como resultado, as avaliações de UX são altamente dependentes do contexto do usuário (em termos de motivação e habilidade), sistema (em termos de suas capacidades) e ambiente de uso (em termos de conforto e existência de gatilhos necessários) (Fogg, 2009). Segundo Creswell (2014), a pesquisa quantitativa é uma

abordagem de pesquisa que busca quantificar o problema, coletando dados numéricos que podem ser transformados em estatísticas utilizáveis. Já a pesquisa qualitativa pode ser entendida como um conjunto de práticas que transformam o mundo visível em dados representativos e busca entender um fenômeno em seu contexto natural, a fim de desenvolver uma compreensão complexa e detalhada dos dados (Creswell, 2014).

Métodos e técnicas de UX vêm sendo investigados para avaliar aplicativos de RA (Labrie et al., 2020; Satti et al., 2019; Ko et al., 2023). Contudo, essas abordagens de UX ainda não são específicas para aplicações de RA em dispositivos móveis que utilizam marcadores, especialmente aquelas direcionadas para a educação e, ainda mais, para o ensino de DT.

Considerando o exposto, o objetivo principal deste trabalho é a exploração de técnicas de Realidade Aumentada (RA) para o auxílio de aprendizagem de Desenho Técnico (DT), desenvolvimento de uma ferramenta de visualização de peças 3D e verificação de sua usabilidade utilizando métodos específicos de Experiência do Usuário (UX).

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho, os objetivos específicos incluem:

- Investigar as técnicas de Realidade Aumentada (RA), explorando suas ferramentas e potencialidades;
- Analisar, avaliar e selecionar métodos e técnicas de UX presentes na literatura, com o intuito de aplicá-los na avaliação do aplicativo de RA que será desenvolvido;
- Desenvolver uma aplicação de RA em código aberto, que esteja acessível aos usuários e que permita interagir com objetos 3D que simulem peças reais usadas em sala de aula;
- Empregar técnicas de avaliação de UX para verificar a eficácia da aplicação desenvolvida, focando na interação com os objetos 3D.

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, inicialmente, foi conduzida

uma revisão da literatura para contextualizar a pesquisa e estabelecer seu embasamento teórico. Esta revisão buscou mapear o "estado da arte" e a extensão da pesquisa existente, analisando as publicações em bases de dados relevantes da área como ieee¹, ACM² e academia.edu³, em periódicos das áreas de interesse, livros e banco de teses da capes, consolidando o referencial teórico sobre o tema.

Na sequência, foram investigadas as técnicas de UX disponíveis na literatura, visando identificar e selecionar aquelas mais pertinentes para a avaliação de aplicativos de RA. Este processo compreendeu a análise crítica de metodologias de UX aplicadas em contextos análogos, para assim determinar as que melhor se alinham às particularidades do aplicativo de RA a ser desenvolvido, garantindo uma abordagem adequada às necessidades do projeto.

O desenvolvimento do aplicativo de RA constituiu a próxima fase deste estudo. Este aplicativo, destinado a dispositivos móveis, incorporou tecnologias de RA para facilitar a visualização e interação com objetos 3D, especialmente projetados para enriquecer o ensino de DT em sala de aula. O foco foi criar uma ferramenta que não apenas engaje os alunos, mas também melhore sua compreensão dos conceitos abordados.

Por fim, a avaliação do aplicativo pelos usuários foi realizada por meio das técnicas de UX previamente definidas, permitindo uma análise quantitativa e qualitativa das experiências dos usuários. Esta etapa crucial visou não somente mensurar a eficácia do aplicativo desenvolvido, mas também identificar oportunidades de melhoria, assegurando que no futuro a solução final esteja alinhada às expectativas e necessidades dos usuários, além de contribuir significativamente para o processo de ensino e aprendizagem.

Este projeto faz parte das iniciativas do grupo de pesquisa em Mídias Digitais,

¹ <https://ieeexplore.ieee.org/>

² <https://dl.acm.org/>

³ <https://www.academia.edu/>

Sociedade e Educação⁴, registrado junto ao Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e coordenado pela Prof^a. Dr^a. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente⁵. Uma das principais linhas de atuação deste grupo é a criação de soluções inovadoras por meio de tecnologias emergentes. Especificamente, este projeto busca apoiar as disciplinas de design ministradas pela professora Vânia na Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC), no campus de Bauru da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Tradicionalmente, para estimular o desenvolvimento da Visão Espacial (VE) dos alunos, são utilizados objetos físicos em madeira nas aulas práticas, permitindo que os alunos visualizem as peças, analisem-nas e realizem representações gráficas manualmente. Entretanto, diante das restrições impostas pela pandemia de Covid-19 e a conseqüente necessidade de aulas não presenciais, surgiu a demanda por uma alternativa digital aos objetos físicos, o que motivou a realização deste projeto.

Dentro deste contexto, o alinhamento com a Linha 2 – Tecnologias Midiáticas, do Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia (PPGMiT), evidencia o caráter interdisciplinar desta pesquisa, que interage com a computação, o design e a educação buscando tornar o aplicativo de RA acessível para uso em sala de aula, sem custos para a comunidade. Assim, espera-se não só despertar o interesse dos alunos e aprimorar suas habilidades espaciais, mas também contribuir para a nona meta (meta 9.5) da Agenda 2030 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) (IPEA, 2018), que visa “construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação”, além de contribuir para a educação inclusiva e mais equitativa, a fim de promover a aprendizagem do aluno, convergindo com a quarta meta (meta 4.4), aumentando a quantidade de jovens e adultos a terem competências necessárias para o sucesso na carreira profissional.

Essa tese se desenvolve em 5 capítulos, que exploram temas com abordagens

⁴ <https://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/5438429788959180>

⁵ <http://lattes.cnpq.br/8962021573218552>

teóricas e práticas de DT, RA e UX.

No capítulo 2, são abordados os conceitos de DT e VE contextualizando a importância de ferramentas digitais, especialmente no cenário pandêmico, que impulsionou a necessidade de adaptação tecnológica no ensino. É abordado como a UNESP em Bauru enfrentou desafios para manter a qualidade do ensino com a interrupção das aulas presenciais, destacando a necessidade de incorporar tecnologias emergentes para motivar e engajar os alunos no processo de aprendizagem, utilizando o contexto da disciplina de design como exemplo.

No capítulo 3, é abordado um breve histórico e conceitos fundamentais de RA. Discute-se a evolução da RA desde suas origens na década de 1950, com o Sensorama de Morton Heilig, até as contribuições de Ivan Sutherland, que estabeleceram as bases tecnológicas para as atuais aplicações de RA. Este capítulo destaca o potencial da RA em criar experiências imersivas que combinam elementos reais e virtuais, promovendo uma interação intuitiva e natural do usuário com a aplicação.

O capítulo 4 detalha o desenvolvimento do HypergeoAR, uma aplicação de RA voltada para o auxílio de atividades de DT. Este capítulo aborda desde a seleção de materiais e métodos até a prototipagem e os testes de compatibilidade do aplicativo. O objetivo é disponibilizar uma ferramenta gratuita e de código aberto, facilitando a visualização de peças 3D nas atividades de representação gráfica e superando as limitações impostas pelo contexto da pandemia.

No capítulo 5, a tese apresenta os resultados obtidos a partir da avaliação do HypergeoAR por usuários finais, focando nas emoções positivas geradas e na contribuição da ferramenta para a compreensão dos conceitos de DT. Além disso, discute-se como o projeto se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, destacando seu potencial para estimular a inovação e favorecer uma educação mais inclusiva e equitativa.

O último capítulo conclui a tese reiterando a importância da RA no contexto educacional atual, especialmente para o ensino de DT e GD. Enfatiza os resultados

positivos do HypergeoAR na melhoria da compreensão e engajamento dos alunos, além de prospectar futuras melhorias e aplicações da ferramenta desenvolvida.

2 DESENHO TÉCNICO E VISÃO ESPACIAL

Pode-se afirmar que o Desenho Técnico (DT), conforme entendido atualmente, originou-se como uma aplicação direta dos princípios e fundamentos da Geometria Descritiva (GD), cujo mérito é atribuído a Gaspard Monge (1746-1818). Enquanto professor na Escola Politécnica da França, Monge foi responsável por desenvolver o conceito de projeção, destacando-se especialmente na projeção geométrica plana. Independentemente dos instrumentos utilizados, a GD representa a base essencial do DT. O legado de Monge, fundamentado na articulação de princípios geométricos, estabeleceu os alicerces para a compreensão e prática eficaz do DT (Silva et al., 2004, p. 26).

A sistematização da GD e suas projeções, concebida por Gaspard Monge, permanece fundamental nas disciplinas acadêmicas voltadas para a representação gráfica de objetos 3D por meio do DT até hoje. O DT é utilizado para representar as faces de objetos complexos, especialmente em cursos superiores nas áreas de engenharia e design que o DT é parte integrante das grades curriculares. Os cursos nessas áreas fazem uso das projeções mongeanas como método essencial para a visualização e representação gráfica de estruturas (Valente, 2018).

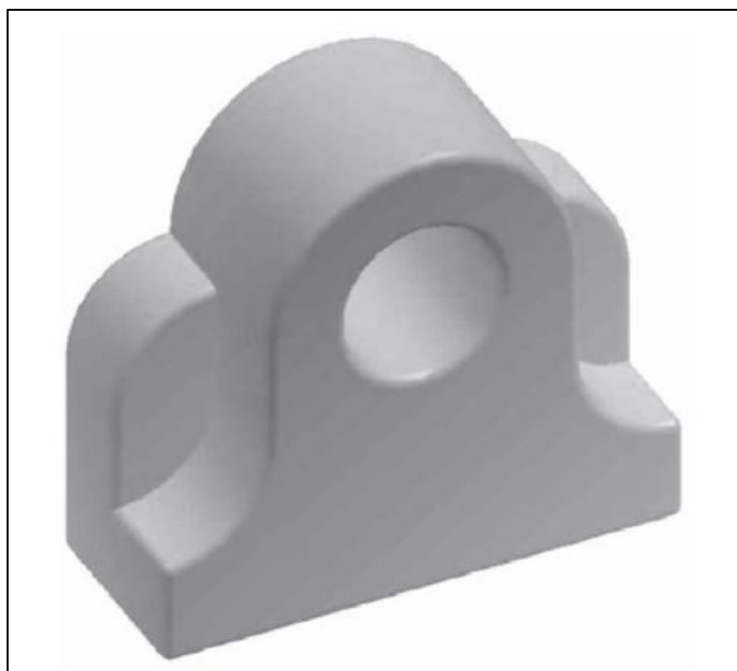
2.1 MODOS DE REPRESENTAÇÃO

Conforme Silva et al. (2004) destacam, o DT pode adotar diversas formas de representações gráficas, mantendo, contudo, a essencial rigidez e objetividade que as caracterizam. As representações gráficas em vistas e perspectiva emergem como os modos mais amplamente empregados no campo do DT.

Ambas as modalidades de representação, sendo de vital importância na descrição de um objeto, apresentam particularidades que as recomendam em contextos distintos, considerando a mensagem a ser transmitida e o público-alvo. O uso dessas formas de representação varia conforme as nuances específicas da situação. A representação perspectiva é empregada quando se busca uma visão espacial e rápida de um determinado objeto. O desenho, de fato, se assemelha a uma fotografia do objeto retratado, não requerendo habilidades especiais para sua

interpretação. A quantidade de informações que ele consegue comunicar pode ser inferior à representação em vistas múltiplas. No entanto, essa abordagem pode ser crucial, por exemplo, em esquemas de montagem ou em catálogos publicitários, onde uma simples observação proporciona uma visão clara do objeto, sem a necessidade de detalhes elaborados. Na Figura 2.1 é representado um objeto em perspectiva.

Figura 2.1. Representação em Perspectiva de um objeto.



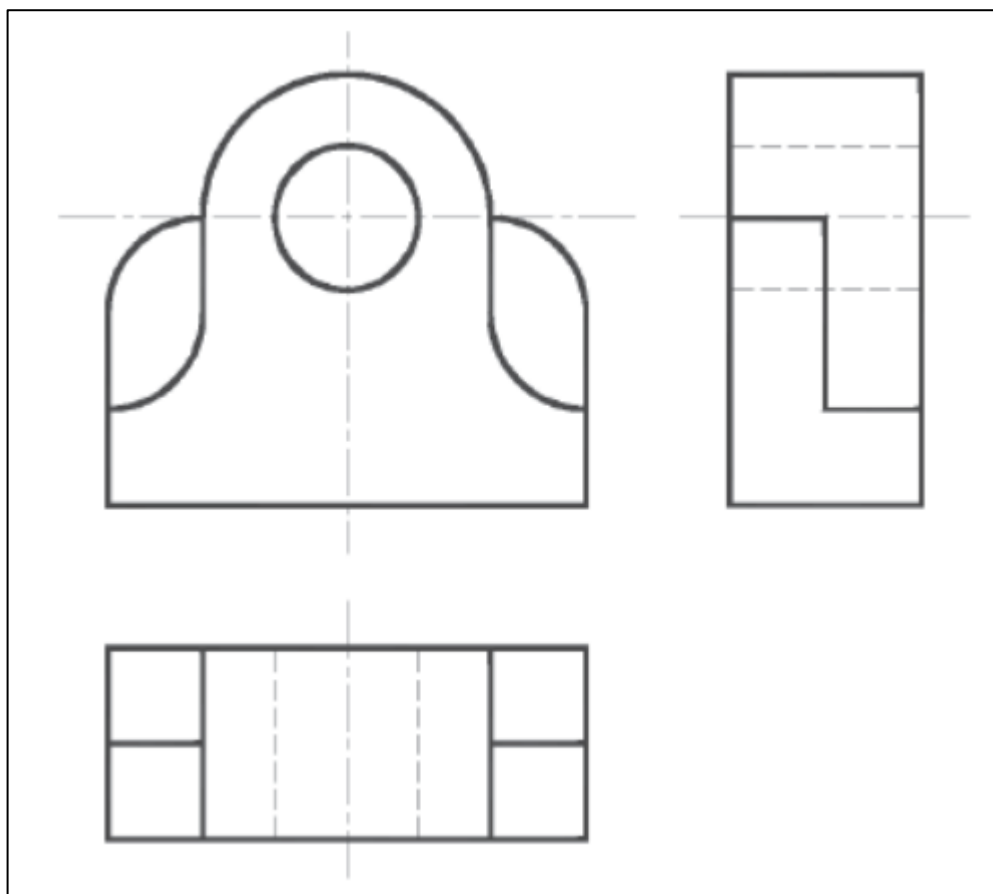
Fonte. SILVA et al., 2004, p. 27.

A representação em vistas múltiplas de um objeto, fundamentada no conceito de projeção ortogonal, destaca-se como uma das formas mais amplamente empregadas na Engenharia. Esta abordagem possibilita a inclusão de uma vasta quantidade de informações em um desenho, abrangendo desde esquemas simples até desenhos de produção completos, contendo anotações, notas de fabricação, e instruções de montagem, entre outros elementos. Este método segue normas e convenções específicas de representação, as quais, uma vez assimiladas, permitem uma visualização imediata do objeto retratado (Silva et al., 2004, p. 27).

Na Figura 2.2 é representado o objeto da Figura 2.1 definido pelas suas vistas

múltiplas obedecidas as regras e convenções implicados no processo de desenho.

Figura 2.2. Representação em vistas múltiplas de um objeto



Fonte. SILVA et al., 2004, p. 27.

Pesquisas conduzidas por Valente (2018), reforçam as definições de Thurstone (1997), as quais indicam a necessidade das habilidades de Visão Espacial (VE) para ambas as formas de representação. Tais habilidades envolvem a capacidade de imaginar ou abstrair objetos em duas ou três dimensões.

2.2 VISÃO ESPACIAL

Desde a década de 1930, uma variedade de estudos analíticos tem consistentemente respaldado a existência de pelo menos duas capacidades espaciais

distintas: visualização e orientação (Mcgee, 1979). A aptidão de visualização envolve a habilidade de realizar mentalmente movimentos e alterações em objetos, enquanto a capacidade de orientação proporciona ao indivíduo a compreensão de configurações espaciais, permitindo o reconhecimento de arranjos de elementos compartilhando um mesmo espaço ou cena (Valente, 2013).

Entre 1974 e 1982, estudos foram conduzidos por meio de uma meta-análise das pesquisas realizadas sobre a habilidade de Visão Espacial (VE), sintetizando-a como a capacidade de transformar, girar e recordar informações simbólicas não linguísticas. Foi estabelecido que a VE abrange: rotação mental, percepção espacial e visualização espacial (Linn e Peterson, 1985). Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentas as definições desses fatores.

Tabela 2.1. Componentes da Visão Espacial.

Fator	Descrição
Rotação Mental	Capacidade de girar uma figura de duas ou três dimensões com precisão e sem mudar sua forma.
Percepção Espacial	Capacidade em perceber relações espaciais relativos ao posicionamento do seu próprio corpo.
Visualização Espacial	Relacionamento entre diferentes representações espaciais.

Fonte: Valente (2018).

McGee (1979), Carroll (1993), Lohman (1979) e Linn (1985), sintetizaram os elementos da VE em memória, velocidade, visualização (rotação e alteração de objetos mentalmente) e orientação (compreensão de configurações espaciais).

Segundo Kaufman (2007), as habilidades de visualização espacial permitem a memorização de partes e realizar rotações do todo mantendo suas características e inter-relações.

Neste contexto, Newcombe (2010), relata que a Visão Espacial (VE) possibilita a localização de objetos, a identificação de suas formas, as relações entre eles e as trajetórias que percorrem durante um movimento.

Tanto Bertoline (1988) quanto Harle (2010), sugerem que a VE é desenvolvida ao longo da vida e com as experiências do dia a dia ela pode ser melhorada. Essa habilidade é rotineiramente aplicada em situações cotidianas, como rearranjar uma mobília em um cômodo de uma casa e por profissionais que dependem de sua capacidade de pensar espacialmente. Os geocientistas, por exemplo, visualizam os processos que afetam a formação da terra, os engenheiros antecipam como várias forças podem afetar o projeto de uma estrutura, já os neurocirurgiões recorrem a ressonâncias magnéticas para visualizar áreas específicas do cérebro que podem determinar o resultado de um procedimento cirúrgico (Newcombe, 2010).

Com os progressos nos sistemas computacionais, tanto em termos de hardware quanto de software, é possível oferecer suporte ao raciocínio espacial, aumentando a sua velocidade, sua precisão e sua flexibilidade. Esse progresso tecnológico também torna mais acessível a um número crescente de pessoas, possibilitando colaboração e elevando os níveis de desempenho. No entanto, ao mesmo tempo, são necessárias competências cognitivas mais desafiantes para as pessoas acompanharem essa rápida evolução tecnológica (Council, 2016).

DeSutter e Stieff (2017) em um dos seus três princípios propostos no artigo para estimular o raciocínio espacial, destacam que os ambientes de aprendizagem devem vincular ferramentas inovadoras, como visualizações ou outras simulações, ações incorporadas por meio de elementos de interface e dispositivos de entrada. Neste sentido, é pertinente pensar que um aplicativo de RA para auxiliar em disciplinas de DT que possibilite a interação do usuário com o objeto 3D a fim de estimular a VE.

2.3 DESENHO TÉCNICO NO CURSO DE DESIGN DA UNESP

Como já citado na seção anterior, este trabalho está inserido no contexto do projeto de pesquisa da Prof^a. Dr^a. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, que leciona disciplinas relacionadas ao Desenho Técnico na Faculdade de Arquitetura, Artes e

Comunicação (FAAC), Câmpus de Bauru da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP).

A professora Vânia descreve em seu livro como é realizado o ensino de GD, e conseqüentemente conceitos de DT, no curso de Design da Unesp (Valente, 2018). Primeiramente são vistos conceitos de Projeção definidos na GD, ato contínuo são vistos os conceitos de Sistemas Cônicos e Cilíndrico de Projeção e, em seguida, o Sistema Cilíndrico de Projeção.

Neste curso de Design a prática é um elemento indispensável que se mescla à teoria. Juntas, elas fornecem aos alunos conceitos, teoremas, definições, notações e procedimentos que propiciam a aquisição de habilidades de concepção e representação gráfica. É por meio da prática que os alunos conseguem construir, solidificar e fixar seu conhecimento em GD.

Valente (2018), relata que durante o curso de Desenho II, os alunos se deparam com desafios relacionados à representação de objetos individuais em perspectivas e épuras, que é a representação de duas ou mais vistas de um objeto em uma mesma ilustração. Além disso, exploram a representação de composições tridimensionais com intersecção e seccionamento, culminando no desenvolvimento de projetos que envolvem múltiplos sólidos e as planificações necessárias para sua montagem. Assim, a VE é promovida desde as primeiras aulas, utilizando os sólidos geométricos como base. A abordagem prática, com modelos que podem ser vistos e tocados, estimula a percepção dos alunos de forma mais eficaz. Para os alunos, é mais plausível compreender as projeções de objetos ou sólidos e suas relações do que visualizar entidades primitivas, como pontos, retas ou planos.

Quando as projeções são realizadas apenas com os elementos geométricos primitivos, a dificuldade aumenta consideravelmente, uma vez que os alunos não conseguem alcançar a abstração necessária para o entendimento. Por outro lado, quando a proposta é inversa, ou seja, apresenta-se a projeção no plano e o aluno precisa visualizar o objeto no espaço tridimensional, as dificuldades se acentuam ainda mais (Valente, 2018).

Segundo Valente (2018), para facilitar a compreensão da teoria do Sistema Mongeano de Projeção e promover a lapidação da VE até que o aluno desenvolva a capacidade de abstração necessária, os docentes nas aulas de GD utilizam os seguintes recursos: modelos tridimensionais em madeira; animações e sistema Hypergeo; exercício no software AutoCAD; fotografias com o celular dos alunos para visualização das faces dos objetos; e, exercícios desenvolvidos em papel A3 com instrumentos de DT.

2.4 HYPERGEO


O Hypergeo, foi criado em 1998 pelas professoras Vânia Cristina Pires Nogueira Valente⁶ (orientadora do projeto) e Maria Antônia Benutti⁷, ambas vinculadas FAAC da UNESP Bauru. Desenvolvido em HTML e *Applet* Java, o Hypergeo está disponível na internet há mais de duas décadas e continua a ser uma referência para estudos acadêmicos voltados ao entendimento do Sistema Mongeano de Projeções e à busca de novos métodos para ensinar DT (Figura 2.3).

Atualmente o Hypergeo antigo não está online, pois está sendo totalmente redefinido, desde seu design, até a sua tecnologia. A versão atual, mas não a final, pode ser acessada em <https://hypergeo.netlify.app/> (Figura 2.4) e o código está disponível no repositório git: <https://github.com/adrianobezerra1/Hypergeo>. A versão final do Hypergeo ficará hospedada em www.hypergeo.net.

⁶ <http://lattes.cnpq.br/8962021573218552>

⁷ <http://lattes.cnpq.br/4651595631518025>

Figura 2.3 - Representação de páginas web do Hypergeo de 1998.



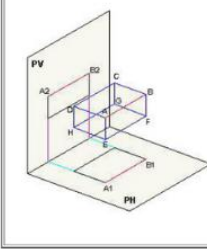
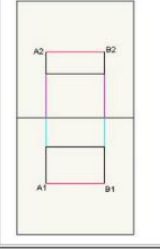
Prof.ª Dra. Maria Antonia Benutti Giunta-Universidade Estadual Paulista - UNESP/Bauri
 ProF.Dra. Vânia C. P.N. Valente-Universidade Estadual Paulista - UNESP/Bauri
Última atualização: 10/09/2005

CONCEITOS MONGEANOS EXISTENTES NA REPRESENTAÇÃO EM VISTAS NO 1º DIEDRO

Representação no espaço e em época de um prisma retangular reto, no 1º diedro, para mostrar as posições de retas e planos em relação aos planos de projeção. As retas serão representadas por um de seus segmentos, que podem ser arestas das faces do sólido ou ligação de dois vértices não consecutivos do mesmo; e os planos, por faces do sólido.

Para que a representação fique mais clara, é necessário que se dê nomes aos elementos da projeção e do objeto a ser projetado, para isso adotaremos as seguintes CONVENÇÕES PARA NOTAÇÃO: [clique](#)

Então, mãos à obra, iniciando pelas ARESTAS.
 Começando pela aresta AB.

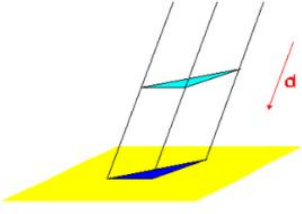
Observe a representação NO ESPAÇO:	EM ÉPURA:
	


A reta representada pelo segmento AB é chamada reta FRONTO-HORIZONTAL.


Características da reta Fronto-horizontal:

- O segmento AB tem mesma cota – distância do ponto ao PH - em todos os seus pontos, portanto é paralela ao PH.
- Tem também, mesmo afastamento – distância do ponto ao PV - em todos os seus pontos e portanto é paralela ao PV.
- Sendo paralela ao PV e PH também o será à LT.
- Por ser paralela ao PH, sua projeção horizontal está em V.G. – Verdadeira Grandeza
- Por ser paralela ao PV, sua projeção vertical também estará em V.G.

As projetantes partem do infinito e têm direção oblíqua em relação ao plano de projeção.







Fonte: Próprio autor.

Figura 2.4 - Novo design do site Hypergeo.



Sistema Cônico Sistema Cilíndrico Sistema Mongeano

O que é Projeção?

SAIBA MAIS!

A projeção de um objeto é sua REPRESENTAÇÃO GRÁFICA num plano.

Como os objetos têm três dimensões, sua representação num plano bidimensional se dá em conformidade com artifícios técnicos, para tanto, são considerados os elementos básicos da projeção.

Fonte: Próprio autor.

Como forma de complementar o Hypergeo, estão sendo desenvolvidas novas ferramentas e aplicações que possam auxiliar os alunos na compreensão de conceitos de DT, como a DiedricAR (Ravé et al. 2016), Livro didático de Andrade et al. (2017), ferramenta UNIFOR (Scortegagna e Gonçalves, 2018), *Augmented Reality for Web* (Oliveira e Silva, 2019), ferramenta ARIF (Beck e Costa, 2020) e o HypergeoAR, ferramenta que é objeto de dessa tese de doutoramento.

2.5 O CENÁRIO PANDÊMICO

Quando as atividades presenciais foram abruptamente interrompidas em março de 2020, em decorrência da pandemia de Covid-19, a UNESP em Bauru enfrentou desafios significativos no ensino superior, com a urgência de capacitar professores em tecnologias educacionais e revelou desigualdades no acesso dos alunos a essas ferramentas. A falta de infraestrutura tecnológica adequada, combinada com dificuldades econômicas, agravou as disparidades na aprendizagem.

A UNESP em Bauru, assim como outras instituições de ensino superior, enfrentou o desafio imediato da transição para o ensino remoto e a necessidade urgente de repensar práticas pedagógicas para promover a inclusão digital e a equidade no acesso ao conhecimento. O distanciamento entre a evolução tecnológica dentro e fora do ambiente escolar já em 2009 havia sido considerado por Veen e Vrakking (2009), muitas instituições não acompanham as mudanças tecnológicas a fim de integrar novas ferramentas digitais no processo educacional, frequentemente essa integração são vivenciadas fora da instituição de ensino.

De acordo com Prensky (2012), os alunos do século XXI diferem significativamente daqueles para os quais o modelo educacional tradicional foi originalmente concebido. Nesse contexto, a incorporação das novas TICs podem desempenhar um papel crucial ao motivar os alunos nos processos de aprendizagem, incluindo a construção do conhecimento

Strong (2002) já relatava que as tecnologias de informática eram meios possíveis para ampliar o pensamento espacial e aumentar as habilidades e competências espaciais. Hoje isso se comprova com os estudos trazidos por Valente

(2018).

Antes da pandemia os alunos da disciplina de design da UNESP de Bauru utilizavam objetos feitos de madeira em sala de aula para manusear, visualizar os detalhes das peças e fazerem os exercícios de representação gráfica em folhas de papel. No cenário pandêmico, o contato do aluno com os objetos físicos não foi mais possível, restando ao aluno a visualização do objeto em uma imagem plana fixa na tela, seja do computador ou do celular.

Dessa forma percebeu-se a falta de ferramentas digitais que possibilitassem aos alunos a interação com os sólidos geométricos em 3D, o que motivou a execução deste projeto.

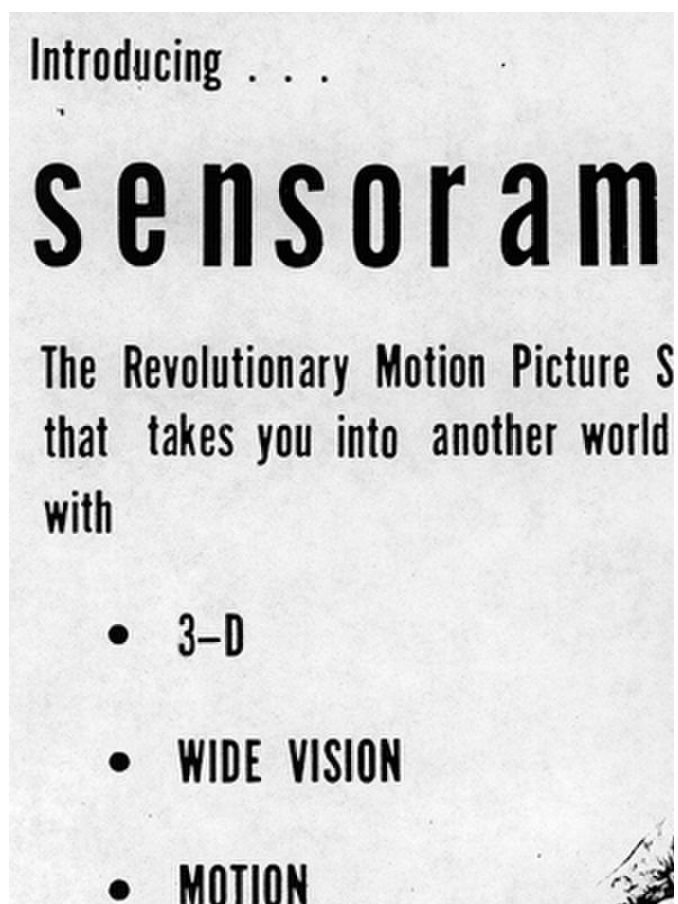
No próximo capítulo será tratado sobre a tecnologia de Realidade Aumentada (RA), uma tecnologia capaz de extrapolar as imagens estáticas em tela e que permite a interação dinâmica do usuário com os objetos relacionados. O estudo de Hamilton (2011), corroborado com a revisão sistemática de Ibáñez e Delgado-Kloos (2018), relata que a RA sobressai como uma das tecnologias emergentes mais promissoras em publicações e eventos científicos, apresentando grande potencial para apoiar a aprendizagem, possibilitando enriquecer a experiência de aprendizado dos alunos, proporcionando interatividade e estimulando o engajamento.

3 REALIDADE AUMENTADA

Nesta seção é realizado um histórico da Realidade Aumentada (RA), bem como uma abordagem geral de suas definições buscando a compreensão dos seus conceitos.

A primeira aparição da RA remonta à década de 1950, quando um cineasta americano chamado Morton Heilig pensou que o cinema era uma atividade capaz de atrair o espectador para a tela, absorvendo todos os sentidos. Em 1962, o cineasta desenvolveu um protótipo de sua visão, descrito em 1955 como Sensorama (Figura 3.1). No Sensorama, o usuário era submetido a diversas sensações: movimentos, sons, odores, vento e visão estereoscópica, que causavam uma experiência de imersão até então inimaginável (Tori, 2018).

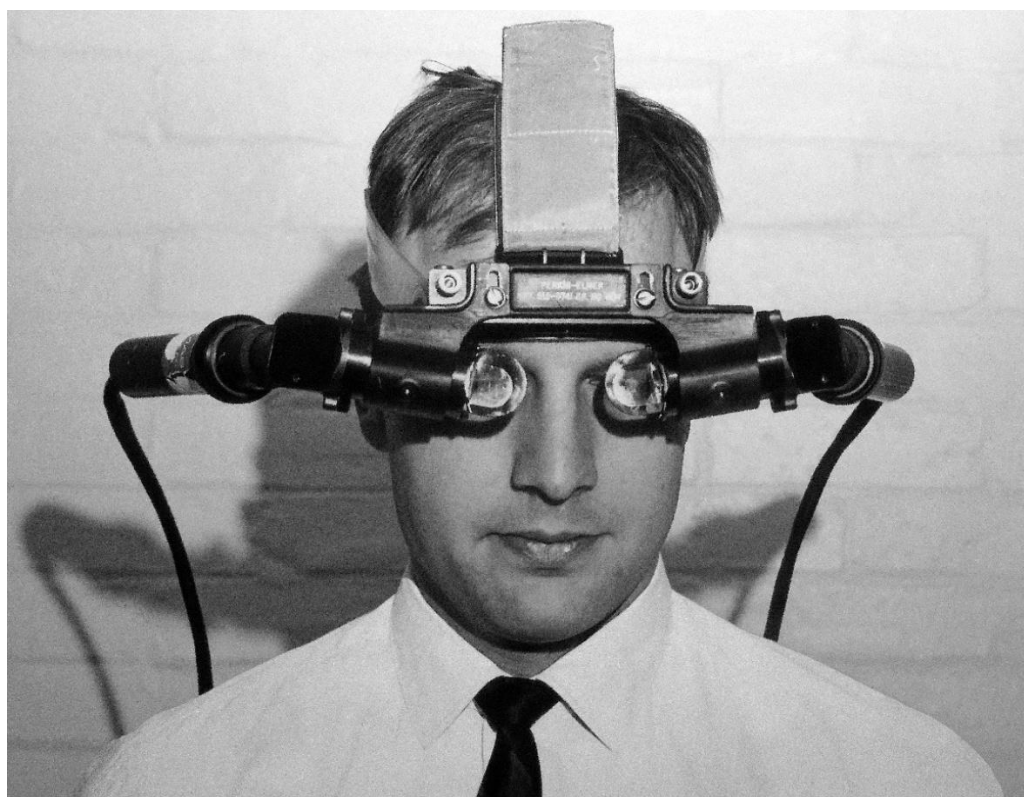
Figura 3.1 - Cartaz de divulgação do Sensorama.



Fonte: Heilig (1960).

Após a inovadora ideia de Morton Heilig na década de 1960, o pesquisador Ivan Sutherland apresentou dois artigos com significativas contribuições. No primeiro artigo o autor propõe a evolução da Realidade Virtual (RV)⁸ e seu reflexo no mundo real (Sutherland, 1965) e no outro artigo o autor relata o desenvolvimento de um capacete de visão óptica (tradução livre de *Head-Mounted Display*, que usa a sigla HMD) direta para visualização de objetos tridimensionais (3D) em um ambiente real (Sutherland, 1968), que, aí sim, a RA começou a se concretizar (Figura 3.2). Mas só na década de 1980, pela Força Aérea dos EUA, nos simuladores de voo, que a RA foi utilizada em um grande projeto, onde o cockpit de uma aeronave era simulado mesclando elementos virtuais e reais (Kirner, 2007).

Figura 3.2 - HMD apresentado por Sutherland.



Fonte: Sutherland (1968).

⁸ A Realidade Virtual pode ser entendida como uma interface avançada para aplicações computacionais, na qual o usuário pode interagir, em tempo real, a partir de um ambiente tridimensional sintético, utilizando dispositivos multissensoriais (Kirner e Siscoutto, 2007).

Em 1997, Ronald Azuma escreveu em sua pesquisa uma definição amplamente reconhecida de RA, identificando-a como uma combinação de ambiente real e virtual, sendo simulada em 3D e interativa em tempo real (Azuma, 1997).

Conforme Kirner e Tori (2006), a distinção entre RV e RA pode ser resumida assim: a RV se concentra exclusivamente no mundo virtual, transportando o usuário para esse ambiente e focando na interatividade; já a RA integra o mundo real ao virtual, preservando a percepção do usuário de estar no mundo real e destacando a qualidade das imagens e a interação.

Segundo Hounsell et al. (2018), a RA mantém o espaço físico real, apresentando elementos virtuais no espaço real do usuário. O objetivo é que o usuário possa interagir com o mundo e os elementos virtuais, de maneira mais natural e intuitiva sem necessidade de treinamento ou adaptação.

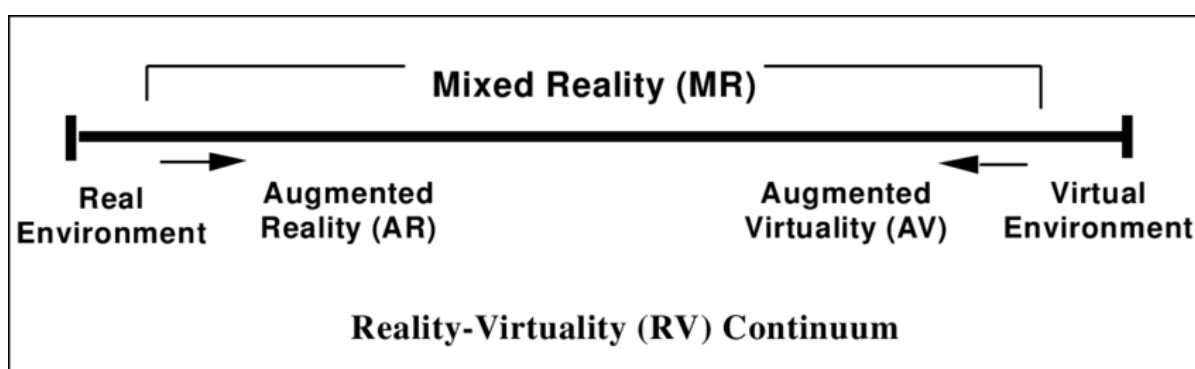
A RA se caracteriza por quatro aspectos fundamentais: a combinação de alta qualidade do mundo real e virtual, a calibração de posição e orientação para alinhar elementos virtuais ao mundo real, a interação em tempo real entre objetos virtuais e reais (Kirner e Tori, 2006).

Segundo Housell et al (2018), a interação do usuário com a aplicação de RA pode ser feita de maneira **direta** (com algum gesto da mão ou com o corpo do usuário), **indireta** (auxiliada por algum dispositivo de interação) ou **multimodal** (quando vários dispositivos competem para facilitar a interação). A possibilidade de usar uma interação natural com as suas próprias mãos para segurar instrumentos físicos reais ao mesmo tempo em que se é possível interagir com informações e modelos virtuais, é um dos maiores benefícios da RA.

Outras definições de RA semelhantes podem ser encontradas. Insley (2003), define RA como uma tecnologia que possibilita o enriquecimento do mundo real com textos, imagens e objetos virtuais criados por computador. De acordo com Azuma (2001), a RA é um sistema que enriquece o mundo real com objetos virtuais criados por computador, que parecem coexistir no mesmo espaço. Este sistema apresenta características distintas, como a fusão de objetos reais e virtuais no ambiente real, a

operação interativa em tempo real, o alinhamento preciso entre objetos reais e virtuais, e sua aplicabilidade a todos os sentidos, englobando audição, tato, força e olfato. Augment (2022), define RA como sendo o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real. Já Milgram et al. (1994), descreveram que a RA é a mistura de mundos reais e virtuais em algum ponto do espectro que conecta ambientes completamente reais a ambientes completamente virtuais. Uma definição muito encontrada na literatura destes mesmos autores é o que eles apresentaram como um “contínuo de realidade-virtualidade” relacionando a mistura das realidades em classes de objetos apresentados simultaneamente em qualquer tipo de tela (Figura 3.3).

Figura 3.3. Contínuo reality-virtuality de Milgram.



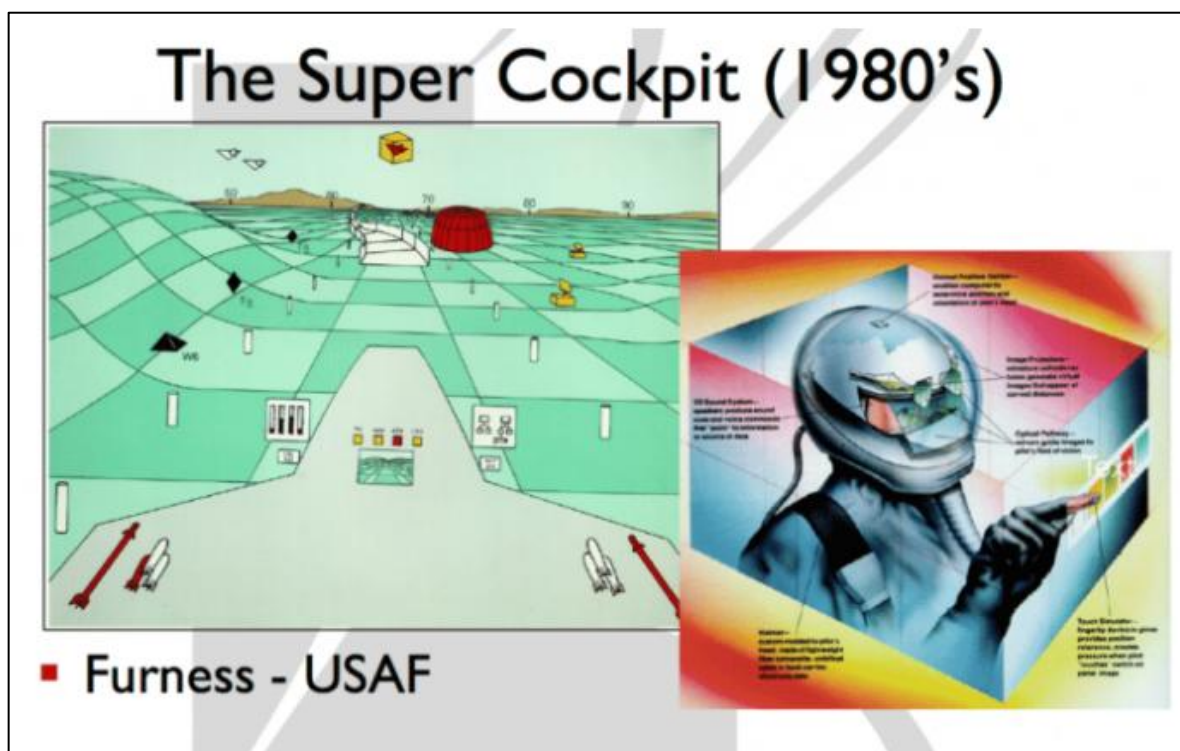
Fonte: Milgram et al. (1994).

O “Contínuo de Realidade-Virtualidade” demonstra que os ambientes reais se posicionam no extremo esquerdo do contínuo, enquanto os ambientes virtuais se colocam no outro extremo. Assim, para se ter um ambiente de realidade mista, pode-se haver duas possibilidades: a primeira na qual os objetos reais estão inseridos em ambiente virtual, denominados como virtualidade aumentada; a segunda é na qual objetos virtuais são inseridos em ambientes reais, denominados, assim, a Realidade Aumentada.

Em 1986, foi introduzido o primeiro projeto efetivo de RA, conhecido como o *Super Cockpit*, um simulador criado por *Tom Furness* a pedido da Força Aérea para treinamento de pilotos de caça, introduzindo o conceito de visor “*head-up*”. Na Figura 3.4, é possível observar a imagem que foi utilizada no artigo com os detalhes do projeto e na Figura 3.5, pode ser visualizado o projeto sendo utilizado no treinamento

do piloto. Este sistema avançado exibia informações cruciais de voo e missão diretamente no campo visual do piloto, usando ambientes virtuais e displays translúcidos, o que era particularmente útil para operações noturnas. A tecnologia permitia a visualização de dados sobrepostos à visão real, melhorando a percepção espacial e facilitando a navegação, a identificação de alvos e outras tarefas aéreas, mesmo em condições de visibilidade limitada (Furness, 1881).

Figura 3.4 – Imagem do projeto do Super Cockpit utilizado no artigo.



Fonte: Furness (1986).

Figura 3.5 – O Super Cockpit sendo utilizado no treinamento de pilotos.



Fonte: Buy (2015).

Com a evolução das TICs, principalmente o poder de processamento dos dispositivos, o seu barateamento, o aumento da velocidade da comunicação e a disponibilidade de aplicativos gratuitos, tanto nos computadores quanto nos dispositivos móveis, vem promovendo a consolidação de várias tecnologias, dentre elas a RA (Hounsell et al., 2018). Aplicações que antes só existiam em ambientes acadêmicos, ou laboratórios de pesquisas de grandes empresas ou industriais, agora são mais populares.

O grande potencial da RA para as aplicações cotidianas está chamando a atenção de grandes empresas como Microsoft, Apple, IBM, HP, Sony, Google, Facebook, dentre outras (Ling, 2017). Muitas dessas empresas já desenvolveram vários dispositivos inovadores para RA, tais como: HoloLens⁹, OS VR2¹⁰, Google Glass¹¹, Magicleap¹², Metaquest¹³, entre outros.

Talvez o projeto de RA mais popular até agora tenha sido o Pokémon GO¹⁴ (Figura 3.6), um jogo de RA desenvolvido entre as empresas Niantic, Inc., a Nintendo e a *The Pokémon Company* que foi lançado em 2016, baixado mais de 500 milhões de vezes em todo o mundo¹⁵.

Figura 3.6 - Tela do jogo Pokémon Go.



Fonte: Pokémon GO (2023).

Hounsell et al. (2018), apresentaram um gráfico constatando o crescimento significativo de pesquisas na área de RA em termos mundiais nas principais revistas

⁹ <https://www.microsoft.com/pt-br/hololens/hardware#documente-experi%C3%A0ncias>

¹⁰ <https://meups.com.br/tag/ps-vr2/>

¹¹ <https://www.techtudo.com.br/tudo-sobre/google-glass/>

¹² <https://www.magicleap.com/about-us>

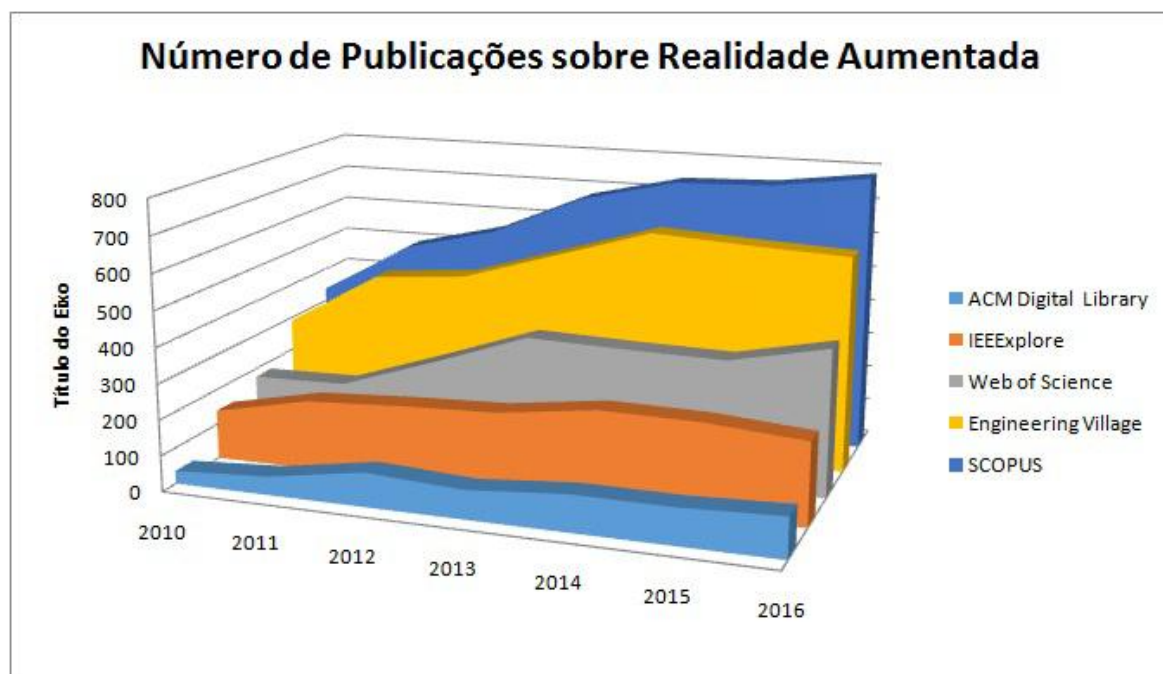
¹³ <https://about.meta.com/br/technologies/meta-quest/>

¹⁴ <https://g1.globo.com/tecnologia/games/noticia/2015/09/pokemon-go-para-ios-e-android-levara-monstrinhos-para-mundo-real.html>

¹⁵ <https://www.businessofapps.com/data/pokemon-go-statistics/>

científicas da área de tecnologia (Figura 3.7). Isso afirma a aceitação da área de RA, bem como a utilidade da tecnologia e sua perspectiva de futuro.

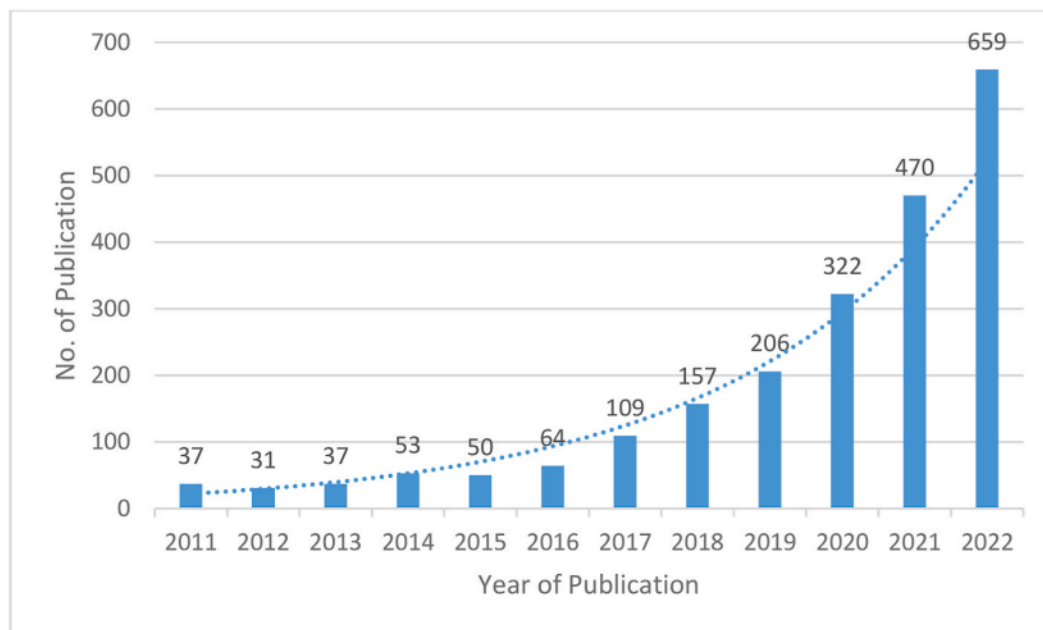
Figura 3.7. Crescimento da RA nos principais Mecanismos de Busca Acadêmica.



Fonte: Hounsell et al. (2018).

Al-ansi (2023), realizaram uma revisão sistemática abrangente para estruturar o desenvolvimento da RA e RV na educação do ano de 2011 a 2022. Embora os resultados revelarem que a adoção de RA e RV na educação teve um crescimento nos últimos anos, os resultados também revelam uma lacuna na implementação e customização rápida dessas tecnologias em instituições educacionais. À medida que as tecnologias de RA e RV se desenvolvem rapidamente e amadurecem, mais aplicações educacionais emergem no processo de aprendizagem. A Figura 3.8 apresenta a distribuição de publicações de RV e RA em educação por ano.

Figura 3.8 - Distribuição de publicações de RV e RA em educação por ano.

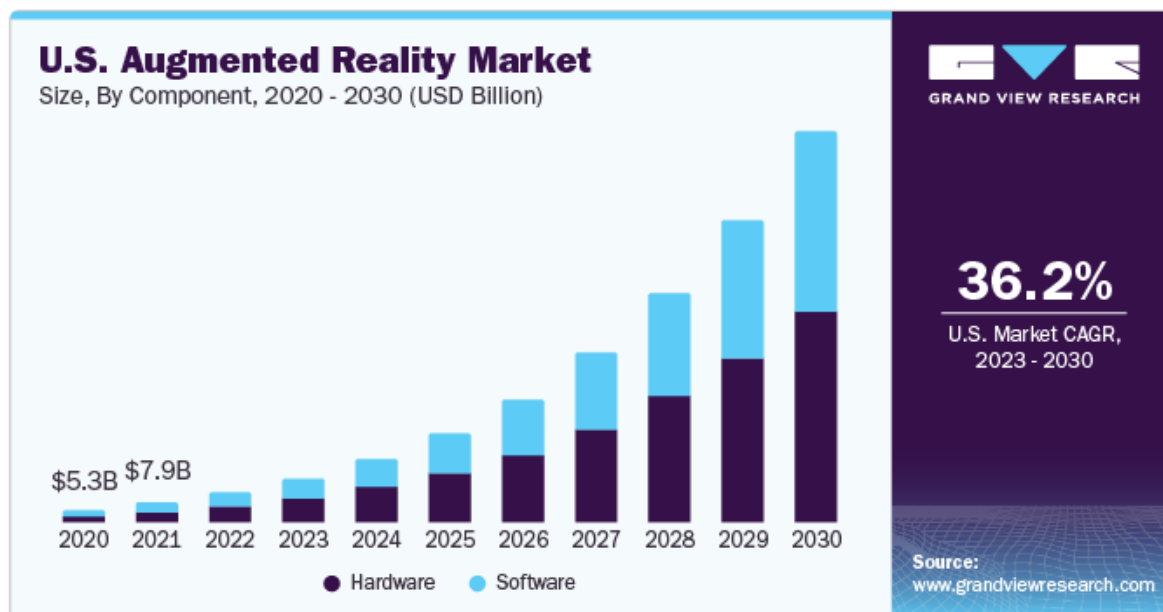


Fonte: Al-Ansi et al. (2023).

No cenário comercial, o mercado global de RA, atingiu uma impressionante marca de aproximadamente 57,26 bilhões de dólares americanos em 2023. Espera-se um crescimento robusto, com uma projeção de taxa composta de crescimento anual de 39,8% entre 2023 e 2030 (Figura 3.9). Esse avanço significativo é impulsionado principalmente pelo interesse crescente de gigantes do setor, como Google LLC, Microsoft Corporation, Meta e Apple, Inc., que têm incorporado a RA em um leque diversificado de aplicações, gerando assim novas oportunidades de mercado, conforme aponta o relatório da Gvr (2022).

A versatilidade da RA se estende para além das fronteiras do entretenimento, encontrando aplicações práticas e inovadoras na educação e treinamento, onde facilita a aprendizagem imersiva e interativa. Ademais, a RA vem sendo cada vez mais adotada em setores como logística, saúde e manufatura, onde desempenha papéis cruciais no monitoramento, assistência, manutenção e treinamento, otimizando processos e melhorando a eficiência operacional Gvr (2022).

Figura 3.9 - Crescimento do mercado de software e hardware de RA em bilhões de dólares.



Fonte: GVR (2022).

Diante desses desenvolvimentos, torna-se evidente que a RA não é apenas uma tendência passageira, mas sim um campo de estudo e aplicação em expansão acelerada. Essa expansão se verifica tanto no âmbito acadêmico, com pesquisas e estudos dedicados à evolução da tecnologia, quanto no cenário comercial, onde sua aplicabilidade diversificada promete transformar uma ampla gama de indústrias Gvr (2022).

Os aplicativos baseados RA se baseiam em três pilares: ferramentas para rastrear um marcador de referência que pode ser objetos de interesse do mundo real; hardware e software para processar informações obtidas pela câmera do dispositivo; e dispositivos para mostrar ao usuário a informação digital integrada ao ambiente real (Carmigniani et al., 2011).

A tecnologia de RA possui dois modos predominantes para fazer o rastreamento de informações do mundo físico. O primeiro é baseado em uma imagem que requer o reconhecimento de um marcador, seja um *Quick Response Code* (QR Code) ou uma imagem de um objeto específico para trazer informações digitais; o segundo modo é baseado em localização, que faz uso do Sistema De Posicionamento Global (GPS) de um dispositivo para identificar locais nos quais as informações

geradas por computador devem ser sobrepostas naquela localização. Neste trabalho é enfatizado o modo por reconhecimento de marcadores que será o utilizado na aplicação a ser desenvolvida.

Tempos atrás os marcadores mais comuns na RA eram os chamados fiduciais, que são simplesmente cartões com uma moldura retangular e com um símbolo em seu interior, funcionando como um código de barras 2D, que utilizando técnicas de visão computacional para calcular a posição da câmera real e sua orientação em relação aos marcadores, possibilita que o sistema possa sobrepor objetos virtuais sobre os marcadores (Figura 3.10).

Atualmente existem os chamados QR Codes ou simplesmente qualquer imagem (Foto retirada de uma câmera de celular) como marcadores de RA.

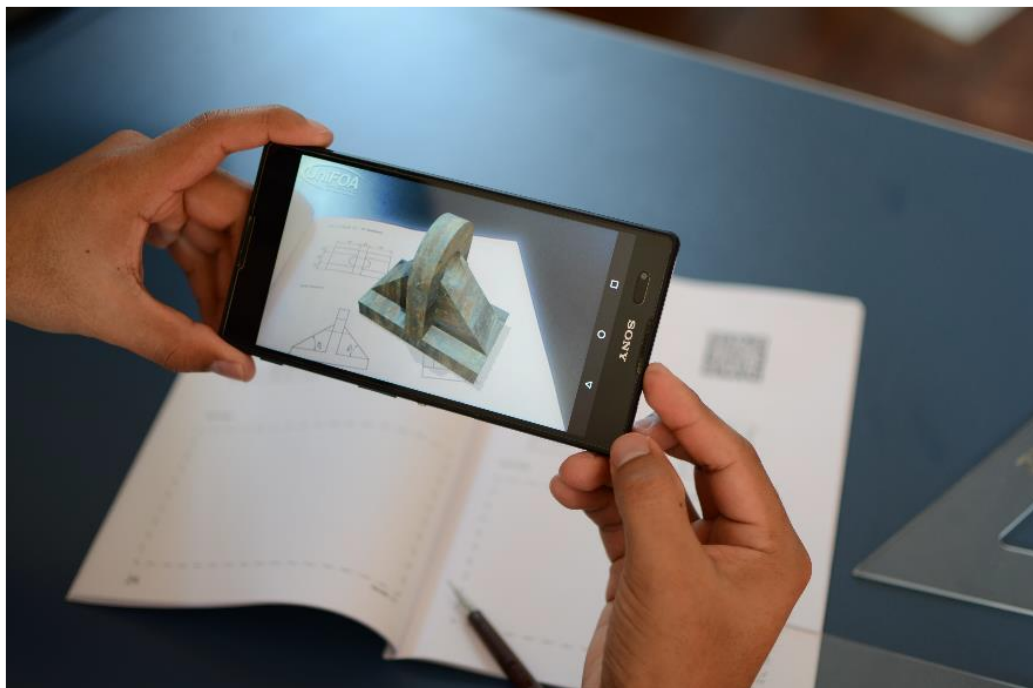
Figura 3.10. Exemplo de marcador fiducial.



Fonte: ARToolKit, 2023.

Na Figura 3.11 é demonstrado um exemplo de um objeto virtual sendo sobreposto a um marcador do tipo QR Code.

Figura 3.11. Peça virtual sobreposta a um marcador do tipo QR Code.



Fonte: Andrade et al. (2017).

Dentre as várias aplicações da RA atualmente, neste trabalho destaca-se a aplicação na área da educação.

3.1 REALIDADE AUMENTADA NA EDUCAÇÃO

A RA é uma tecnologia popular que se tornou uma ferramenta importante na educação nos últimos anos. Entre os principais motivos de sua aceitação na área educacional incluem a disponibilidade de dispositivos móveis de baixo custo com recursos inovadores que permitem a implantação de aplicativos baseados nesta tecnologia (Bacca et al., 2014; Ibáñez e Delgado-Kloos, 2018).

A utilização crescente da RA no contexto educacional foi abordada em um relatório da New Media Consortium (NMC), apresentado por Becker et al. (2017). Neste documento, os autores procuraram identificar e detalhar tendências, desafios e avanços tecnológicos com potencial de influenciar o planejamento tecnológico e as decisões estratégicas no âmbito da educação global. No segmento dedicado ao ensino superior, o relatório destaca as tecnologias ou práticas com previsão de adoção em seus respectivos setores no período de cinco anos seguintes (2017-2021),

ressaltando em particular o acelerado desenvolvimento das tecnologias de RA e RV observado em 2016. Além disso, o documento marca a reentrada da aprendizagem móvel no cenário educacional para o ano de 2017, um movimento previamente mencionado no relatório de 2012 e que os sinais indicam estar em vias de uma nova onda de interesse e adoção.

No estudo de Lopes et al. (2019) buscou vários artigos que apresentaram análises, pesquisas, *frameworks* ou revisões teóricas sobre o uso da RA na educação, principalmente por meio de dispositivos móveis. Os autores relatam que o fato da maioria dos alunos possuírem celulares compatíveis com o uso da RA, isso facilita o uso da tecnologia de RA em sala de aula, inclusive fazendo com que o aluno utilize o seu próprio dispositivo, não recrutando um investimento por parte das escolas neste sentido. Ademais, os autores destacam o alto impacto motivacional que o uso da RA impacta sobre os alunos, além dos professores também reconhecerem o potencial didático que os recursos com RA por meio de dispositivos móveis possuem.

Revisões sistemáticas de pesquisas descobriram que a RA tem um grande potencial para aplicações pedagógicas, destacando as suas vantagens e desvantagens. Essas revisões fornecem informações relevantes sobre como a tecnologia RA auxilia o aprendizado dos alunos.

As características dos meios de RA, como imersão, navegação e manipulação, parecem funcionar como propulsores de emoções positivas durante a aprendizagem e criam resultados de aprendizagem mais eficientes e melhores (Cheng e Tsai, 2013).

Radu (2014) apresenta uma lista dos impactos positivos e negativos da tecnologia educacional de RA na aprendizagem dos alunos. Neste estudo é relatado que a RA é útil para aumentar a motivação dos alunos, promover a colaboração entre os alunos, desenvolver habilidades espaciais como a VE e melhorar o desempenho em tarefas. Já em relação aos impactos negativos da RA, foi apontado que a RA impõe uma carga cognitiva extra aos alunos e causa problemas de usabilidade.

Akçayir e Akçayir (2017) relatam um aumento no número de pesquisas sobre RA. A disponibilidade e o avanço da tecnologia como dispositivos móveis, internet e

de programas de software para desenvolver aplicações de RA contribuem para esse aumento. Akçayir e Akçayir (2017) destacam que a RA oferece uma gama de benefícios significativos no seu uso em ambientes educacionais. Estes benefícios foram divididos em quatro categorias: resultados do aluno, contribuições pedagógicas, interação e outras.

No que diz respeito aos resultados do aluno, a RA foi consistentemente associada a melhorias nos resultados de aprendizagem dos alunos. Os estudos indicaram que a tecnologia de RA contribui para o aprimoramento do desempenho acadêmico, aumentando a conquista de aprendizagem dos alunos. A RA não apenas promove uma atitude positiva em relação às atividades de aprendizagem aprimoradas pela tecnologia, mas também aumenta a motivação dos alunos, os ajudando a compreender melhor o conteúdo e a alcançar maior satisfação em relação ao processo educacional.

Com relação as contribuições pedagógicas, os estudos relatam que a RA desempenha um papel fundamental na melhoria do ambiente de aprendizagem, tornando-o mais envolvente e interativo. Ela aumenta a diversão no processo de ensino, eleva o nível de engajamento dos alunos e facilita uma maior participação ativa dos alunos. Além disso, a RA permite uma abordagem mais centrada no aluno, capacitando os alunos a assumirem responsabilidades e tomarem suas próprias decisões, o que, por sua vez, intensifica o engajamento e a interação dos alunos no processo educacional.

Quando analisado sobre o aspecto da interação, o estudo relata que a RA consegue promover a interação entre os alunos e o material de aprendizagem, estimulando o aprendizado prático e a colaboração entre pares. Além disso, facilita a comunicação e interação entre alunos e professores, enriquecendo as experiências educacionais.

Em outras áreas de benefícios, os autores destacam que a RA auxilia na visualização de conceitos abstratos e na compreensão de fenômenos intangíveis, tornando o aprendizado mais tangível e acessível. Sua facilidade de uso e capacidade de tornar o processo educacional mais atraente e prazeroso são aspectos importantes

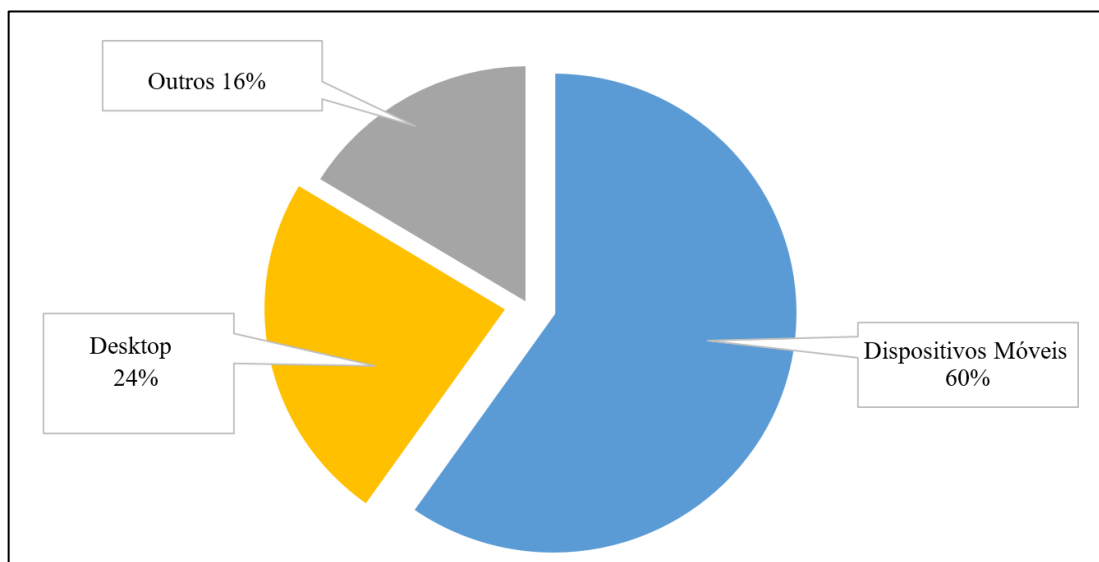
que potencializam a eficácia da educação moderna (Akçayir e Akçayir, 2017).

Em síntese sobre os trabalhos analisado pelos autores, o uso integrado da Realidade Aumentada em ambientes educacionais não apenas potencializa o desempenho acadêmico dos alunos, mas também revoluciona a forma como o conhecimento é adquirido e assimilado. Ao explorar as vantagens da RA em termos de resultados dos alunos, contribuições pedagógicas, interação e outros benefícios, os educadores podem criar experiências de aprendizagem mais envolventes, personalizadas e eficazes, preparando os alunos para os desafios do futuro de forma significativa.

Outra contribuição do estudo de Akçayir e Akçayir (2017) foi a análise dos trabalhos distribuídos quanto ao tipo de tecnologia utilizada nas aplicações de RA na educação. A RA pode ser acessada por tecnologias distintas como dispositivos móveis, computadores *desktops* e *Head-Mounted Displays* (HMDs), cada uma possui a sua particularidade e a escolha da tecnologia utilizada na aplicação de RA é de vital importância para o sucesso do seu uso (WU et al., 2013). Na Figura 3.12, é demonstrado que 60% dos trabalhos utilizaram dispositivos móveis como celulares e tablets nas aplicações. Apenas 24% utilizaram computadores *desktop* e 16% usaram outras tecnologias.

Akçayir e Akçayir (2017), destacam que os dispositivos móveis oferecem flexibilidade e portabilidade, possibilitando o uso da RA em uma variedade de ambientes educacionais. Estes dispositivos também estimulam a interatividade social, o que é benéfico para a colaboração entre os alunos, além de permitirem a operação independente, proporcionando aos alunos autonomia em suas atividades de aprendizagem. Em alguns casos os dispositivos móveis podem permitir que atividades possam ocorrer em ar livre, ampliando ainda mais as possibilidades de aprendizado.

Figura 3.12 - Tecnologias utilizadas nas aplicações de RA na educação.



Fonte: Adaptado de Akçayir e Akçayir (2017).

Nunes et al. (2021), realizaram uma investigação para analisar a forma que a RA foi aplicada em práticas pedagógicas nas áreas de ciências e de letras. Este estudo teve como base de dados o Portal de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), no qual foram considerados trabalhos de 2010 até a metade de 2021. Dos dezoito trabalhos analisados, onze acessaram a RA por meio da tecnologia de dispositivos móveis, seis usaram a *World Wide Web* (WEB) e um acessou por outras tecnologias.

A preferência por dispositivos móveis é atribuída à disseminação generalizada de *smartphones* e tablets na era digital atual. Isso sugere que a acessibilidade e a familiaridade com esses dispositivos contribuem para a escolha da tecnologia de RA. A mobilidade é destacada como um dos atrativos da RA. Os autores salientam que computadores de mesa não oferecem a mesma mobilidade que os dispositivos móveis, o que pode ser crucial em contextos educacionais dinâmicos. Além disso, o uso de seus próprios dispositivos móveis reduz os custos associados à implementação da tecnologia. No entanto, a diversidade de dispositivos móveis no mercado pode representar desafios em termos de compatibilidade e padronização. (Nunes et al., 2021)

Bacca et al. (2014) apresentam uma revisão sistemática da literatura sobre o

uso da RA em contextos educacionais, abordando os usos, vantagens, limitações, eficácia, desafios e recursos de RA em ambientes educacionais. A revisão sistemática contemplou 32 estudos publicados entre 2003 e 2013 em 6 periódicos indexados, com o intuito de fornecer o estado da arte sobre a pesquisa em RA na educação, além de discutir tendências e vislumbrar oportunidades para pesquisas na área.

A análise dos estudos selecionados revelou que a RA foi aplicada principalmente nas áreas de ciências, posteriormente, ciências humanas e artes, com a maioria das aplicações focadas no ensino superior e na educação básica e ensino médio, visando principalmente motivar os alunos.

Os métodos de avaliação da experiência do usuário com aplicações de RA identificados nesta revisão incluíram questionários, entrevistas, pesquisas e observações. A maioria dos estudos adotou abordagens metodológicas mistas, combinando métodos qualitativos e quantitativos para avaliar a eficácia e a percepção dos usuários sobre as aplicações. Esses métodos de avaliação visavam entender o desempenho de aprendizagem, a motivação, o engajamento dos alunos e as atitudes positivas em relação ao uso da RA na educação.

Em relação as dificuldades dos usuários, Bacca et al. (2014) destacaram questões de usabilidade. A principal dificuldade relatada foi a "sobreposição das informações na tela", na qual os alunos podem se sentir frustrados se a aplicação não funcionar corretamente ou se encontrarem dificuldades em usar marcadores ou dispositivos para visualizar as informações aumentadas. Outra limitação mencionada foi o "excesso de atenção desprendido pelo usuário nas informações virtuais", relacionada à novidade da tecnologia quando usada pela primeira vez em sala de aula, podendo levar os alunos a se distraírem com as informações virtuais apresentadas ou com a própria tecnologia. Além disso, a "tecnologia invasiva" também foi listada como uma limitação, principalmente no contexto do uso de dispositivos de visualização HMDs, que podem interromper a interação natural com outras pessoas por conta do alto grau de imersão e pouca ou nula percepção do ambiente externo real.

Como conclusão Bacca et al. (2014) destaca o potencial significativo da RA

para enriquecer experiências educacionais, promovendo ganhos de aprendizagem e aumentando a motivação dos alunos, além de promover a interação e colaboração, enquanto as principais limitações da tecnologia utilizada para dispositivos móveis se devem a questões de usabilidade.

A revisão de Chatzopoulos et al. (2017) também elenca barreiras de usabilidade para o uso da RA por meio de dispositivos móveis e integração ineficaz entre alunos e professores com o uso da tecnologia. Na pesquisa foram elencadas limitações como:

- Incompatibilidade tecnológicas dos dispositivos; alto consumo de bateria com o uso das aplicações, pois muitas vezes usam câmera, internet e GPS ao mesmo tempo;
- Dificuldade de algumas aplicações no uso mais amplo em ambientes livres, sem uso de marcadores, que utilizam, por exemplo, o GPS;
- Aceitação social, a exemplo do Pokemon Go¹⁶, que muitas pessoas eram contrárias e criticavam os jogadores;
- Muitas aplicações são protótipos ou iniciais, devendo os proponentes cuidarem para não passar uma visão ruim da RA, por desenvolverem aplicações inadequadas;
- Requisitos de rede para acessar os objetos virtuais;
- Problemas de segurança e privacidade, pois com o uso da RA podem ser geradas várias fontes potenciais de invasão, incluindo identificação pessoal, rastreamento de localização e armazenamento de dados privados.

Cheng e Tsai (2013) relatam tendências valiosas e possíveis direções de pesquisa para o ensino de ciências utilizando a tecnologia de RA. Foram analisados um total de 12 artigos escolhidos com base em critérios que incluíam dados empíricos ou tópicos relacionados à ciência, como astronomia, química, biologia ou engenharia. Foi observado que as aplicações de RA baseadas em marcadores são

¹⁶ Jogo com RA, lançado em 2016 para *smartphones* iOS e Android (<https://pokemongolive.com/>).

frequentemente utilizadas para melhorar habilidades espaciais, habilidades práticas e compreensão conceitual dos alunos.

Quanto aos métodos de avaliação da UX com aplicações de RA, Cheng e Tsai (2013) relatam que os artigos destacam a avaliação da usabilidade e interação. No entanto, é feita uma sugestão para que as futuras pesquisas explorem mais profundamente a UX além da usabilidade, considerando variáveis afetivas como prazer e satisfação. Neste contexto, deixam claro que há uma lacuna na literatura em relação à avaliação da UX, indicando a necessidade de abordagens de avaliação mais abrangente que incorporem aspectos afetivos e emocionais da interação com tecnologias de RA voltadas para a educação.

O artigo de Zorzal et al. (2018) aborda o potencial da Realidade Aumentada Móvel (RAM) na educação, destacando suas aplicações em diversas áreas do conhecimento e levantando os desafios enfrentados na integração dessa tecnologia aos métodos educacionais tradicionais. O estudo analisou 83 trabalhos que investigaram o uso da RAM na educação, evidenciando que as áreas da biologia e história são as mais beneficiadas, com a RAM sendo utilizada principalmente para melhorar a representação de objetos espaciais, simplificar conceitos associados e fomentar a colaboração e interação entre alunos.

Embora o artigo não detalhe especificamente os métodos de avaliação utilizados nos estudos analisados, ele menciona a importância de realizar avaliações, acompanhamentos e estudos de caso mais profundos para validar as aplicações de RAM na educação. Essas avaliações devem considerar a eficácia, eficiência e satisfação dos usuários, não apenas no que diz respeito ao funcionamento do produto e à conformidade com os padrões de usabilidade, mas também acerca das opiniões dos usuários sobre sua experiência de aprendizagem com a tecnologia.

Na próxima seção serão apresentados trabalhos de RA no contexto de Geometria Descritiva (GD) e Desenho Técnico (DT) realizando uma análise quanto as avaliações realizadas pelos usuários elencando elementos de UX e VE.

3.2 REALIDADE AUMENTADA NO CONTEXTO DE GEOMETRIA DESCRITIVA

Na área da Geometria Descritiva Ravé et al. (2016) desenvolveram uma aplicação denominada DiedricAR (Figura 3.13). A aplicação de RA permite que os alunos aprendam geometria de forma autônoma utilizando os seus próprios dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*), sobre o material de formação (livro de exercícios DiedricAR) especialmente concebido para o novo modelo de aprendizagem definido pelo Sistema de Ensino Superior Europeu (EHES), que atribui importância ao trabalho autônomo do aluno e coloca novos desafios em disciplinas relacionadas com a linguagem gráfica.

Para o desenvolvimento dos modelos, os autores utilizaram a ferramenta *AutoCAD*¹⁷ para desenvolver as peças a serem trabalhadas, posteriormente eles importam na ferramenta *Autodesk 3D Studio Max*¹⁸ para ajustar e criar o modelo 3D. Para o desenvolvimento das cenas do aplicativo de RA foi utilizada a ferramenta *Unity3D*¹⁹, juntamente com a *Vuforia*²⁰, um kit que, por meio da visão computacional, pode reconhecer e rastrear marcadores, que pode ser um Qr Code, qualquer imagem planar, até mesmo um objeto 3D. A *Vuforia* tem uma licença gratuita para fins educacionais.

Quanto a avaliação da experiência com os usuários do DiedricAR, Ravé et al. (2016) se basearam em três aspectos principais: desempenho do aplicativo, experiência do usuário e impacto na capacidade espacial dos alunos. Segundo os autores, a aplicação desenvolvida se mostrou eficiente, gerando um impacto positivo na habilidade espacial dos alunos que utilizaram. Foram comparados dois grupos de alunos, um grupo recebeu o ensino sem o apoio da aplicação e o segundo utilizou o DiedricAR para complementar o seu aprendizado. A pontuação dos alunos que realizaram as atividades utilizando a DiedricAR foi 17,5% superior aos alunos que não utilizaram.

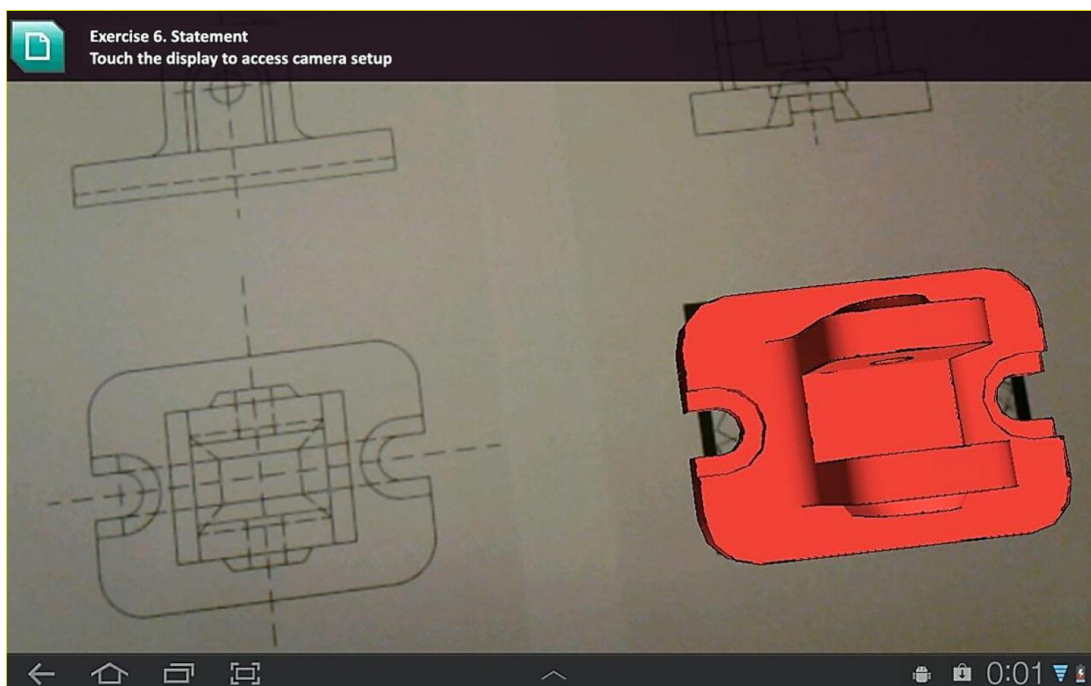
¹⁷ software de projeto e desenho 2D e 3D (<https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>)

¹⁸ software de modelagem 3D (<https://www.autodesk.com.br/products/3ds-max/overview>)

¹⁹ software que possibilita a criação de aplicações de RA com objetos 3D (<https://unity.com/>)

²⁰ biblioteca de criação de marcadores de RA (<https://www.ptc.com/en/products/vuforia>)

Figura 3.13 - Imagem da aplicação DiedricAR sendo executada



Fonte: Ravé et al. (2016)

Quanto a análise da UX, Ravé et al. (2016) relatam que a aplicação foi desenvolvida baseada nos princípios propostos por Kourouthanassis et al. (2015), que são:

- Princípio 1 - Altos graus de usabilidade e desempenho geral. A interação com o DiedricAR foi intuitiva e amigável ao minimizar a sobrecarga cognitiva e de informação.
- Princípio 2 - Melhor experiência do usuário em termos de usabilidade do aplicativo. A usabilidade de um modo geral foi boa devido à operação do aplicativo ser realizada com apenas uma mão, mas relatam dificuldades dos usuários para interagir com ícones de tamanho pequeno.
- Princípio 3 - Informar sobre a privacidade do conteúdo: neste princípio o aplicativo não foi avaliado.
- Princípio 4 - Fornecer *feedback* sobre o comportamento do sistema. A curva de aprendizado de uso do sistema foi melhorada e a frustração do usuário com as respostas lentas ou inesperadas do aplicativo foi mínima.
- Princípio 5 - Apoiar a memória processual e semântica. Para os alunos a interação com o aplicativo foi clara e compreensível tendo como consequência a sua familiaridade. Emoções negativas do usuário, como confusão e frustração, foram mínimas.

Ravé et al. (2016) relatam que a aplicação se provou capaz de ser executada adequadamente em diversos dispositivos utilizados pelos alunos, o que fez do aplicativo uma ferramenta flexível, de baixo custo e eficiente.

Dentro deste contexto, Scortegagna e Gonçalves (2018) desenvolveram uma aplicação para apoiar o ensino de DT no curso de Engenharia na Universidade de Fortaleza (UNIFOR). A iniciativa envolveu o uso do aplicativo de RA denominado Augment²¹ para facilitar a compreensão dos alunos sobre vistas ortográficas a partir de peças tridimensionais. A Augment é um aplicativo pago de RA que permite visualizar os objetos e personagens em 3D. Para o desenvolvimento dos modelos 3D utilizados no aplicativo foi utilizada a ferramenta CATIA-V5²². Após o desenvolvimento dos modelos, eles são adicionados ao ambiente da ferramenta Augment e disponibilizados no aplicativo, permitindo que os alunos visualizassem as peças em 3D através de seus *smartphones* ao direcioná-los para marcadores específicos. Na Figura 3.14 pode-se ter a visão dos alunos que foram incentivados a imaginar os planos de projeção na sala de aula e a relacioná-los com as vistas das peças sobrepostas na tela do aplicativo Augment.

Após a realização da atividade em sala de aula com 29 alunos, a maioria sendo de cursos de engenharia mecânica e engenharia civil, foi realizado um questionário para os alunos contendo quatro questões relacionadas à utilização do aplicativo, a saber:

1) Quanto ao nível de ajuda que a ferramenta proporciona: foi solicitado aos alunos que avaliassem com uma nota de 0 a 5, o quanto o exercício contribuiu para sua compreensão e desenvolvimento da visão espacial, 43,3% deram nota 5, 33,3% deram nota 4 e o restante ficou entre nota 3, 2, 1 e 0

2) Quanto ao comparativo da atividade com e sem o uso da aplicação Augment; 86% dos alunos acharam que a atividade ficou mais fácil com o uso do aplicativo de RA, 10% acharam que com ou sem o uso do aplicativo a dificuldade permanece a mesma. Os 4% restantes que assinalaram a opção “outro”.

²¹ <https://www.augment.com/>

²² <https://www.3ds.com/products/catia/catia-v5>

3) Quanto ao nível de dificuldade dos modelos 3D utilizados: o autor relata que foi feito um estudo prévio para a seleção das peças 3D e, por conta dessas peças utilizadas com o aplicativo terem sido escolhidas baseando-se nas peças que vinham sendo trabalhadas na sala de aula, isso fez com que nenhum aluno julgasse as peças como difíceis. Assim, 55,2% dos alunos acharam a atividade de nível fácil e 44,8% acharam de nível mediana de dificuldade.

4) Quanto a efetividade da metodologia de modo geral: foi perguntado aos alunos se o propósito da atividade foi cumprido e 93,3% responderam que sim, sendo a grande maioria.

Apesar de Scortegagna e Gonçalves (2018) não terem citado a utilização de nenhuma metodologia existente de UX na avaliação com os usuários, os resultados se mostraram satisfatórios, fundamentados em uma pesquisa qualitativa sobre a eficiência do método. A experiência demonstrou que o uso da RA pode ser um recurso valioso no processo de ensino e aprendizagem de DT, auxiliando na visualização e compreensão das projeções ortogonais e contribuindo para o desenvolvimento da visão espacial dos alunos.

Ademais os autores destacam que a RA é uma tecnologia que pode superar as dificuldades enfrentadas pelos alunos na representação de objetos 3D, contribuindo para uma melhor compreensão e desenvolvimento da visão espacial. A inserção de objetos virtualizados em um ambiente real, proporcionada pela RA, oferece uma abordagem dinâmica e interativa para o ensino e aprendizagem, aproximando o aluno do conteúdo apresentado e potencialmente melhorando seu rendimento acadêmico.

Figura 3.14 - Projeção das vistas preferenciais da peça na aplicação Augment.



Fonte: Scortegagna e Gonçalves (2018), p5.

Outro estudo que utilizou a ferramenta Augment para o ensino de DT é o de Andrade et al. (2017). O trabalho em questão desenvolveu um livro didático para o ensino de DT em cursos de Engenharia, Arquitetura e Design, utilizando a RA como ferramenta de apoio. Este livro permite aos alunos visualizarem peças em perspectiva 3D ao apontarem um *smartphone* com o aplicativo Augment para as páginas do livro, enriquecendo a experiência de aprendizagem e facilitando a compreensão da VE.

Para a realização deste aplicativo, foi adotada a metodologia *Design Thinking*, seguindo as etapas sugeridas por Brown (2010), que envolveu uma fase divergente, onde novas opções foram exploradas e uma fase convergente, na qual as opções foram

refinadas e novas decisões foram tomadas. Dentre as tecnologias utilizadas, destaca-se o uso do software Autodesk Inventor²³ para o desenho das peças 3D, o Adobe InDesign²⁴ para a diagramação do livro e o aplicativo Augment, para a visualização das peças em RA. A Autodesk Inventor é uma ferramenta gratuita para fins educacionais, já a Adobe InDesign só tem uma versão gratuita para testes.

Andrade et al. (2017) não mencionam se foi realizada algum tipo de avaliação com usuários do aplicativo. Entretanto, é esperada uma expectativa por parte dos autores de que a integração do livro impresso com a RA contribua para uma melhor assimilação do conteúdo por parte dos alunos, tornando o aprendizado mais interativo e alinhado às tecnologias digitais que fazem parte do cotidiano dos alunos.

Neste contexto de aplicação voltada a apoiar o processo de ensino de conceitos de DT, Oliveira e Silva (2019) desenvolveram um projeto que foi conduzido no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e foi desenvolvido um aplicativo de RA denominado *Augmented Reality for the Web* para a realização de um estudo de caso para a criação de objetos de aprendizagem adaptados à RA, visando facilitar o uso por educadores com limitada familiaridade tecnológica.

A pesquisa iniciou com a seleção de uma atividade específica da disciplina de DT, que desafia os alunos a identificar e associar as faces e arestas de objetos tridimensionais às suas correspondentes vistas em perspectiva isométrica. No desenvolvimento da aplicação foi utilizada a linguagem de programação *JavaScript*, juntamente com a biblioteca *AR.js*²⁵, *WebGL*²⁶, *WebRTC*²⁷ e o *framework* *Three.js*²⁸. A aplicação foi disponibilizada *online* para acesso tanto via navegador tanto em dispositivos móveis quanto em computadores equipados com câmeras (Figura 3.15).

²³ <https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>

²⁴ <https://www.adobe.com/br/products/indesign.html>

²⁵ <https://github.com/AR-js-org/AR.js>

²⁶ <https://get.webgl.org/>

²⁷ <https://webrtc.org/?hl=pt-br>

²⁸ <https://threejs.org/>

Oliveira e Silva (2019) destaca neste projeto a versatilidade dos objetos de aprendizagem enriquecidos com RA, sugerindo sua aplicabilidade não apenas em contextos educacionais voltados ao desenho técnico, mas também em outras áreas de estudo que possam se beneficiar dessa abordagem interativa.

O projeto abordado por Oliveira e Silva (2019) reforça a relevância da RA no suporte ao ensino e aprendizagem, empregando técnicas distintas, mas convergindo no objetivo comum de aprimorar a compreensão dos conceitos geométricos através de representações mais intuitivas e interativas. Embora os autores não tenham citado nenhum tipo de avaliação com os usuários, os autores descrevem que o aplicativo integra elementos de RA com material didático tradicional, proporcionando uma experiência de aprendizado ampliada através de ilustrações e modelos tridimensionais interativos, enriquecendo assim o conteúdo didático proposto na disciplina.

Figura 3.15 - Objeto sendo representado na cena com o uso de RA.



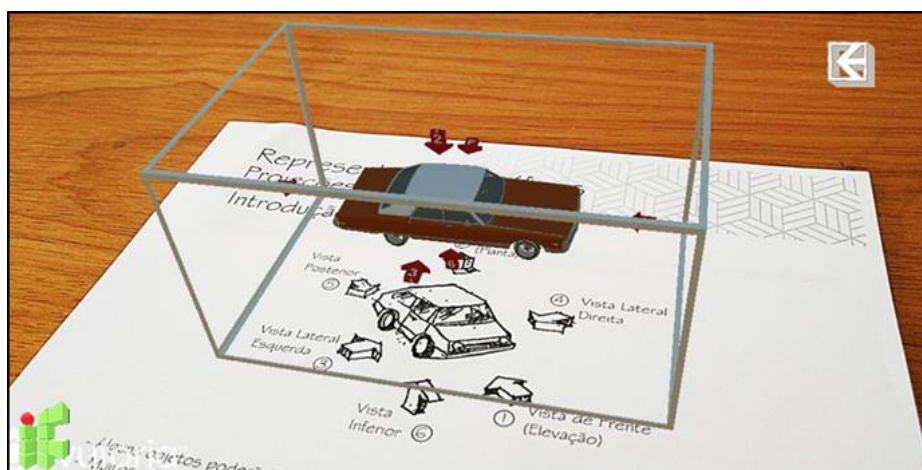
Fonte: Oliveira e Silva (2019).

Beck e Costa (2020) desenvolveram um aplicativo de RA denominado Aplicativo de Realidade Aumentada do Instituto Federal (ARIF) para auxiliar no ensino de DT, com foco na representação de modelos 3D e no desenvolvimento da VE dos alunos. Para as

modelagens dos objetos 3D foi utilizada a ferramenta *Trimble Sketchup*²⁹, no qual alegam ser uma ferramenta prática que possibilita fluidez na produção, edição e visualização de objetos tridimensionais. A ferramenta não é *open source* (código aberto), mas possui uma versão gratuita. Para o desenvolvimento das cenas e lógica de programação do aplicativo foi utilizado a Unity3D³⁰, uma ferramenta de distribuição gratuita, caso a receita com a utilização do aplicativo desenvolvido por ela não ultrapasse 100 mil dólares por ano. Em conjunto com a Unity3D foi utilizada a extensão Vuforia³¹. Na Figura 3.16 é apresentado a tela da aplicação ARIF sobrepondo um objeto 3D sobre a apostila.

Embora o artigo não detalhe especificamente as avaliações da experiência do usuário realizadas pelos alunos, menciona que o aplicativo está sendo testado em contexto real de ensino, com a participação de alunos e professores, para validar a eficácia da ferramenta educacional. A expectativa é que o aplicativo, ao ser utilizado em conjunto com uma apostila complementar, ofereça uma experiência de aprendizado enriquecedora e interativa, promovendo a compreensão dos conceitos de Desenho Técnico de maneira mais efetiva.

Figura 3.16 - Tela da aplicação ARIF.



Fonte: Beck e Costa (2020)

²⁹ <https://www.sketchup.com/>

³⁰ <https://unity.com/>

³¹ <https://www.ptc.com/pt/products/vuforia>

3.3 ANÁLISE DOS TRABALHOS COLETADOS

Os trabalhos mencionados foram analisados com o intuito de fornecer uma visão das opções disponíveis para integrar a tecnologia de RA no ensino de GD e DT, destacando as potenciais melhorias que podem trazer para a compreensão dos alunos, a facilidade de aprendizado e o desenvolvimento de habilidades espaciais.

Na Tabela 3.1 poder ser visualizada uma sumarização da análise dos aplicativos de RA encontrados e relatados acima. Cada aplicativo foi examinado através de várias características, incluindo os autores responsáveis pelo seu desenvolvimento, as tecnologias e ferramentas empregadas no seu desenvolvimento, as metodologias utilizadas para avaliar sua eficácia do uso do aplicativo no ambiente educacional, os resultados ou o impacto que tiveram no processo de aprendizagem e a disponibilidade atual da aplicação para uso por educadores e alunos.

Tabela 3.1 - Análise das aplicações de RA

Aplicativo/ Projeto	Autor(es)	Ferramenta s utilizadas	Método de Avaliação	Resultados/ Impacto	Disponibi lidade
DiedricAR	Ravé et al. (2016)	AutoCAD, Autodesk 3D Studio Max, Unity3D, Vuforia	Baseada nos princípios de Kourouthanassis et al. (2015)	Impacto positivo na habilidade especial e facilidade de uso	Não disponível
Augment (UNIFOR)	Scortegagna e Gonçalves (2018)	CATIA-V5, Augment	Questionário com questões sobre a utilização do aplicativo	Maioria achou que a atividade ficou mais fácil com o uso do aplicativo	Não disponível
Augment (Livro Didático)	Andrade et al. (2017)	Autodesk Inventor, Adobe InDesign, Augment	Não especificado	Integração do livro com RA para melhor assimilação do conteúdo	Não disponível
<i>Augmented Reality for the Web/</i> Projeto UFRGS	Oliveira e Silva (2019)	JavaScript, AR.js, WebGL, WebRTC, framework Three.js.	Não especificado	Versatilidade dos objetos de aprendizagem enriquecidos com RA	Não disponível
ARIF	Beck e Costa (2020)	Trimble Sketchup, Unity3D, Vuforia	Não especificado	Testado em contexto real de ensino	Não disponível

Fonte: Próprio autor.

Um destaque importante na Tabela 3.1, é a indisponibilidade dos projetos concluídos para uso da comunidade acadêmica. Sendo assim, justifica-se a pertinência do desenvolvimento de uma ferramenta que fique disponível e seja disponibilizada para toda a comunidade utilizar.

4 DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO DE REALIDADE AUMENTADA PARA O AUXÍLIO DE ATIVIDADES DE DESENHO TÉCNICO - HYPERGEOAR.

Com base nos estudos relatados sobre a RA no contexto do ensino de GD e DT, ficou evidente o potencial transformador dessa tecnologia no ambiente educacional. Diversos estudos destacaram os benefícios da inclusão de aplicativos de RA para aprimorar a compreensão dos alunos, desenvolver habilidades espaciais, aumentar a motivação e facilitar a aprendizagem interativa.

Neste capítulo, será explorado o processo de desenvolvimento do HypergeoAR, uma aplicação de RA, gratuita e de código aberto, que permite a exploração de peças 3D em atividades de representação gráfica em DT.

Além disso, serão tratados os materiais e métodos utilizados, as ferramentas de programação empregadas, a sua prototipação e os testes de compatibilidade realizados, contribuindo para a criação de um protótipo funcional para ser utilizado por alunos do curso de Design da Unesp e de qualquer outra instituição de ensino superior.

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS PARA O DESENVOLVIMENTO

Embora o hardware dos dispositivos móveis esteja em constante aprimoramento, a escolha da biblioteca real e da estrutura de desenvolvimento desempenha um papel decisivo no desempenho (Wagner, 2009a).

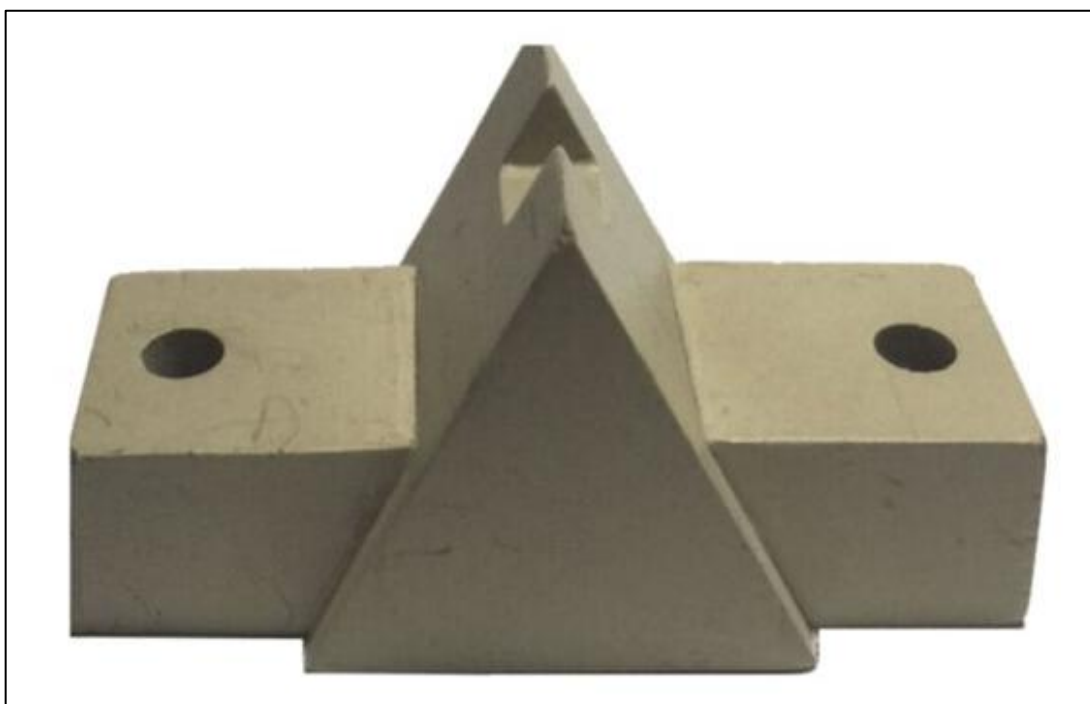
Os seguintes requisitos foram levados em consideração para encontrar uma biblioteca e estrutura adequadas para o aplicativo HypergeoAR: 1) desempenho ideal adaptado às restrições de processamento de dispositivos móveis; 2) compatível com o sistema operacional Android; 3) permitir a interação avançada com modelos 3D, com a inclusão de botões virtuais;

4.1.1 Modelagem dos objetos tridimensionais.

Para a modelagem dos objetos 3D foi utilizada a ferramenta Blender³² na sua versão 3.1.2. Blender é uma ferramenta de computação gráfica 3D gratuita e de código aberto. Ele fornece um forte conjunto de ferramentas capazes de criar modelos 3D, personagens animados em 3D, filmes animados em 3D, um ambiente para videogames e muito mais.

Foram criados 4 modelos 3D baseados nas peças em madeira utilizadas em sala de aula pela professora Vânia. Uma dessas peça pode ser visualizada na Figura 4.1. e seu modelo 3D pode ser visualizado na Figura 4.2.

Figura 4.1 - Peça de madeira utilizada nas aulas presenciais da professora Vânia.

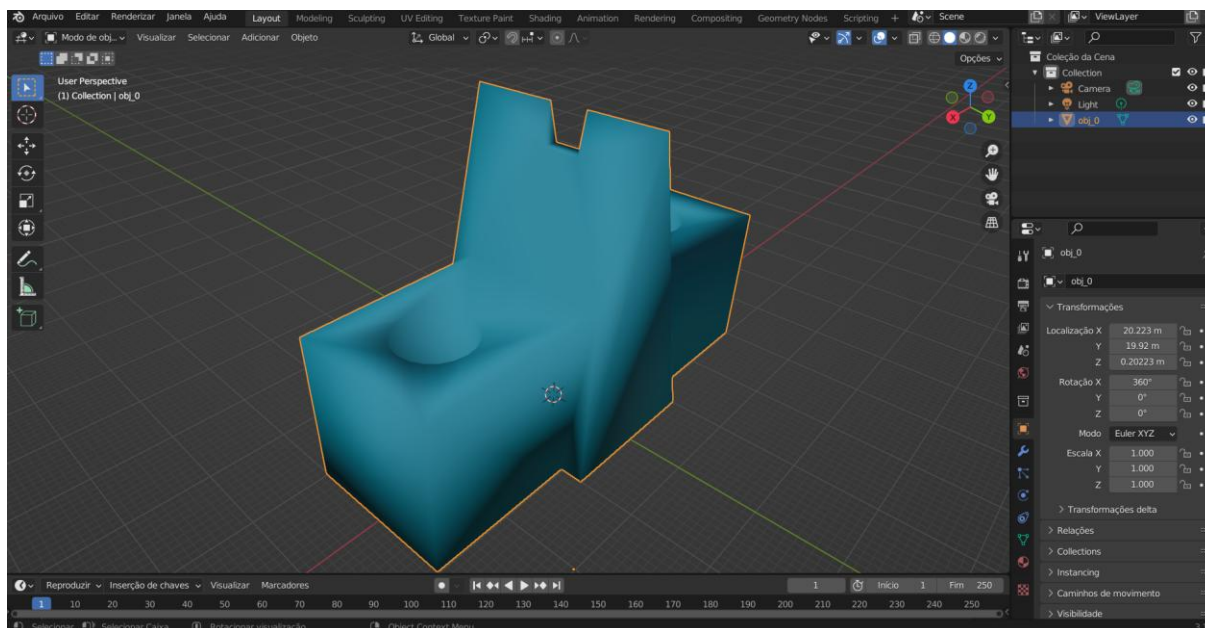


Fonte: Valente (2020).

Antes de exportar o objeto modelado, deve-se certificar o tipo de arquivo que precisará importar na ferramenta de visualização de RA, pois o arquivo deve ser compatível com o SDK que será utilizado. Neste projeto foi utilizado o tipo .obj.

³² <https://www.blender.org/>

Figura 4.2 - Imagem do objeto 3D modelado na Blender.



Fonte: Próprio autor.

4.1.2 Ferramentas e SDKs utilizados

Para o desenvolvimento dos marcadores e a sua detecção e rastreamento, foi pesquisado um Kit de Desenvolvimento de Software (SDK) compatível com o sistema operacional Android, que disponibilizasse um tutorial, que permitisse a integração com a Unity3D e que tivesse suporte ao reconhecimento de mais de um marcador.

Dessa forma, foi escolhido e utilizado o SDK EasyAR³³. EasyAR é uma plataforma de desenvolvimento focada em RA, que oferece um conjunto de ferramentas e SDKs para criar experiências RA imersivas. Ela possibilita a integração de objetos virtuais com o mundo real, utilizando técnicas como mapeamento espacial, reconhecimento de objetos e imagens e rastreamento de movimento. O EasyAR é projetado para ser flexível e acessível, atendendo tanto a desenvolvedores iniciantes quanto a profissionais experientes na criação de aplicações RA (Easyar, 2023).

³³ <https://www.easyar.com/>

A EasyAR possui vários produtos para RA, são eles: EasyAR Sense, para desenvolvimento de aplicativos RA com recursos como rastreamento de imagem e objetos; EasyAR SpatialMap, que foca em mapeamento e localização espacial; EasyAR CRS, que é um sistema de reconhecimento de imagem baseado em nuvem, permitindo o armazenamento e o reconhecimento de grandes quantidades de imagens online; e o EasyAR Mega, que é uma solução que combina tecnologias RA com a capacidade de processar e renderizar grandes quantidades de conteúdo em tempo real, otimizado para cenários de uso intensivo (Easyar, 2023).

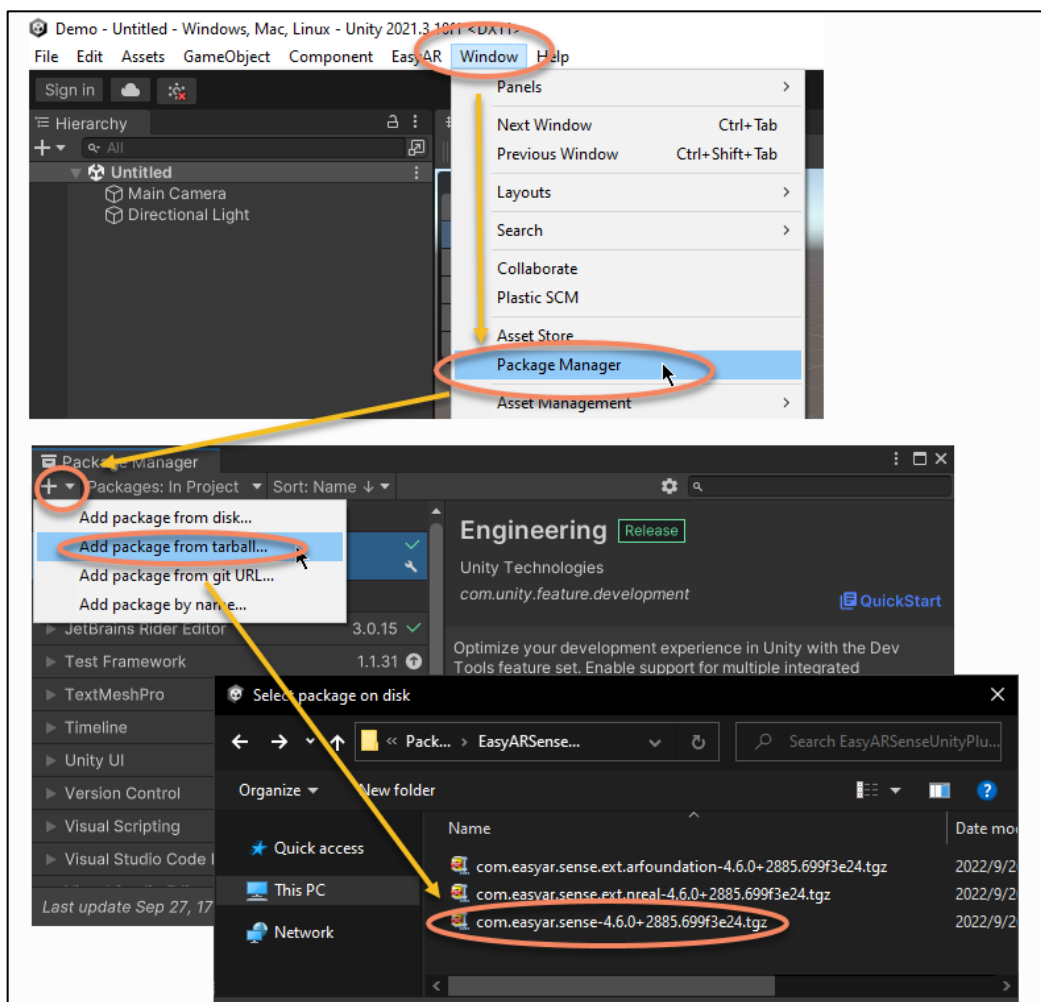
Existem outros SDKs com finalidades semelhantes, como a Vuforia³⁴ (Vuforia, 2023), no entanto, para esse trabalho foi escolhida a EasyAR por ser gratuita na versão utilizada, não ter limite de marcadores, fácil integração com a Unity, além da familiaridade e experiência do autor com a ferramenta no desenvolvimento. Na Figura 4.3 é demonstrado como é feita a integração da EasyAR com a Unity.

A Unity é um SDK que suporta a criação de aplicativos 2D, 3D, jogos, e experiências em RA. Compatível com Windows, Mac e Linux, permite que projetos sejam exportados para mais de 20 plataformas diferentes, incluindo iOS, Android, PlayStation e Xbox. Oferece versões gratuitas para alunos e desenvolvedores individuais, bem como opções pagas para empresas. Sua *engine* 3D facilita a renderização e animação de modelos 3D, permitindo a programação intuitiva via drag-and-drop e scripts em C#. A plataforma também suporta a integração com bibliotecas externas e dispõe de uma loja de *assets*, ampliando suas possibilidades de customização. Além disso, SDKs de RA como Vuforia e EasyAR podem ser integrados, enriquecendo os projetos com recursos de RA (Unity, 2023). A versão da Unity utilizada foi a Unity 2020.3.12.f1, juntamente com a versão da EasyAR 4.5.0.

Como marcadores, foram criados 4 QR Codes, cada um vinculado a um objeto específico. Quanto mais detalhes na imagem os marcadores contiverem, melhor para o reconhecimento e sobreposição do objeto 3D sobre ele (EasyAR 2023b).

³⁴ <https://developer.vuforia.com/>

Figura 4.3 - Adicionando o EasyAR na Unity.



Fonte: EasyAR (2023).

Para importar o marcador no projeto da Unity e inseri-lo na cena basta seguir as seguintes etapas na Unity:

- No projeto Unity, na janela "Project", clicar com o botão direito em um diretório chamado "StreamingAssets", e selecionar a opção "Import New Assets".
- Selecione os QR Codes e acione o botão "Import". Assim, os QR Codes ficarão disponíveis para serem usados como marcadores no projeto.
- Insira um objeto vazio na cena e adicione o script "ImageTargetController" a ele.
- Escolha um QR Code da pasta "StreamingAssets" para vinculá-lo ao objeto vazio criado, informando o nome do arquivo do QR Code no campo "Path",

na janela "*Inspector*".

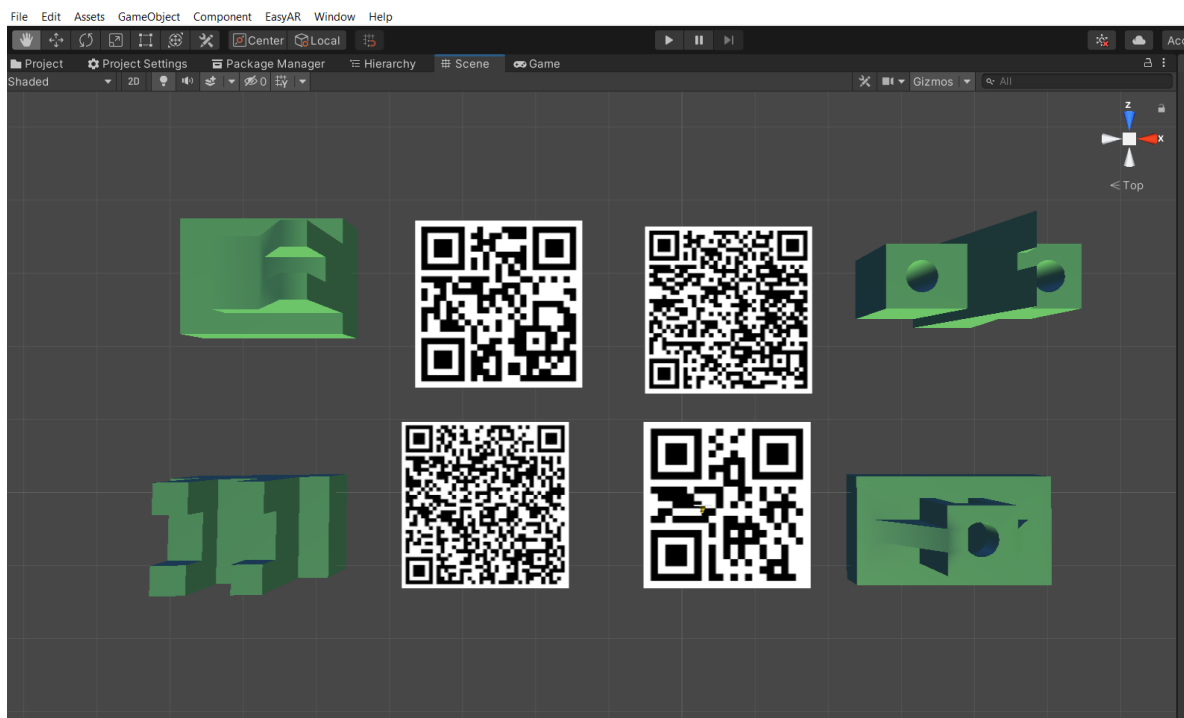
Após essas etapas, o objeto vazio agora será representado na janela "*Scene*" por uma forma geométrica plana, com a textura do marcador escolhido.

Para importar os objetos 3D modelados e vinculá-los ao marcador da cena na Unity, o processo é:

- Com o projeto Unity aberto no editor, na janela "*Project*", escolha uma pasta para armazenar o modelo 3D, então clique com o botão direito do mouse sobre ele e selecione a opção "*Import New Asset*". Feito isto, selecione o objeto 3D desejado, que ele será importado para o projeto ao acionar o botão "*Import*".
- Em um objeto na cena, já configurado com o script "*ImageTargetController*", adicionar o objeto 3D como um objeto filho do mesmo, utilizando para isso um processo de "*Drag and Drop*", ou seja, arrastar o modelo 3D com o cursor do mouse e soltá-lo dentro do objeto na janela "*Hierarchy*".
- Ajustar a posição e a escala do objeto 3D em relação ao marcador, que aparecerá como uma forma plana na janela "*Scene*". Esses ajustes podem ser obtidos utilizando as ferramentas "*Move tool*", "*Rotate tool*" e "*Scale tool*" do editor de cena

Durante a execução do aplicativo, quando a câmera do dispositivo móvel capturar um QRCode correspondente, os objetos 3D serão sobrepostos à imagem real do QRCode. A Figura 4.4 apresenta os objetos 3D vinculados aos marcadores na Unity.

Figura 4.4 - Marcadores vinculados com as peças 3D modeladas.



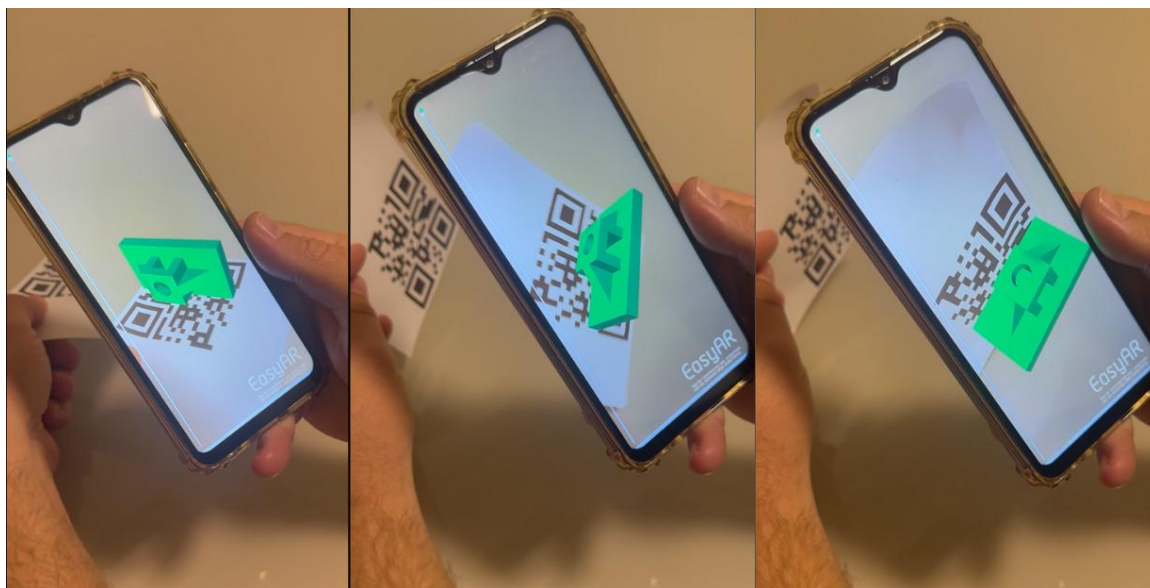
Fonte: Próprio autor.

4.1.3 Prototipação do Aplicativo HypergeoAR

Após os testes realizados com os marcadores e os objetos modelados foi iniciada a prototipação do aplicativo. Inicialmente, foi desenvolvida uma versão do aplicativo sem botões virtuais, exigindo que o usuário tenha que movimentar a tela do dispositivo ou o marcador para que seja possível visualizar os detalhes das peças, conforme apresentado na Figura 4.5.

Com os testes preliminares do aplicativo HypergeoAR, percebeu-se que não era possível visualizar o lado do objeto 3D que estava faceando o marcador. Como há o objetivo do aplicativo ser disponibilizado como um complemento do sistema Hypergeo, no qual o usuário dirigirá a câmera do celular em direção ao marcador fixo na tela do monitor para visualizar a peça 3D, foram criados botões virtuais na interface do HypergeoAR e a possibilidade de uso de gestos na tela para possibilitar outras formas de interação entre o usuário e o aplicativo. Além disso, DeSutter (2017, p.13) destaca que quando se permite a manipulação de objetos virtuais pelos usuários em telas tangíveis, essa interação possibilita oportunidades interessantes ao usuário que apoia a habilidade espacial.

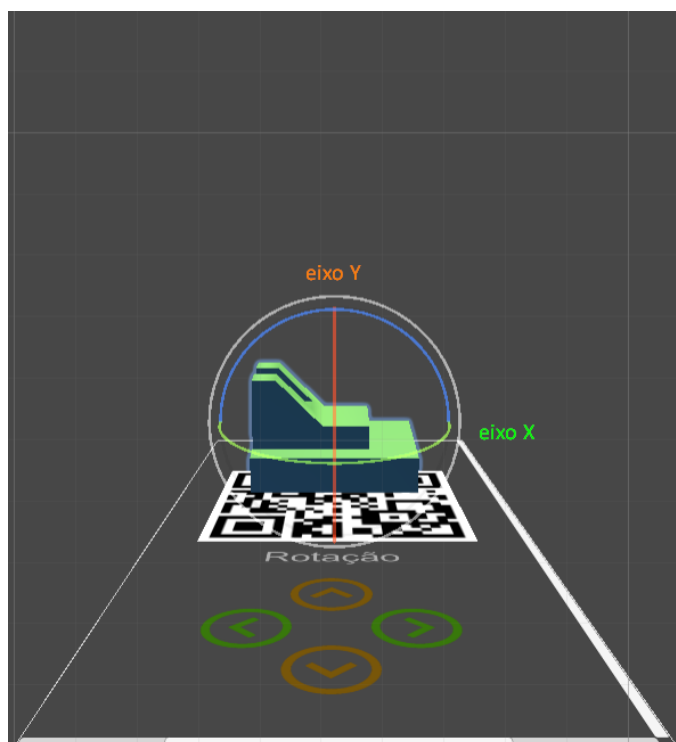
Figura 4.5 - Primeiro protótipo sem botões virtuais.



Fonte: Próprio autor.

Inicialmente, conforme é apresentado na Figura 4.6, foram criados 4 botões virtuais que permitem a rotação do objeto 3D nos eixos x e y.

Figura 4.6 – Protótipo dos botões virtuais de rotação do HypergeoAR.



Fonte: Próprio autor.

Em seguida, percebeu-se a necessidade de se incluir botões que permitissem a translação do objeto em relação ao eixo X de modo que objeto faça o movimento de se afastar e se aproximar do marcador (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Projeto da translação do objeto 3D no eixo x.



Fonte: Próprio autor.

Com esse botão, o usuário tem a sensação de estar aumentando e diminuindo a sua altura do objeto em relação ao marcador, conforme é apresentado na Figura 4.8.

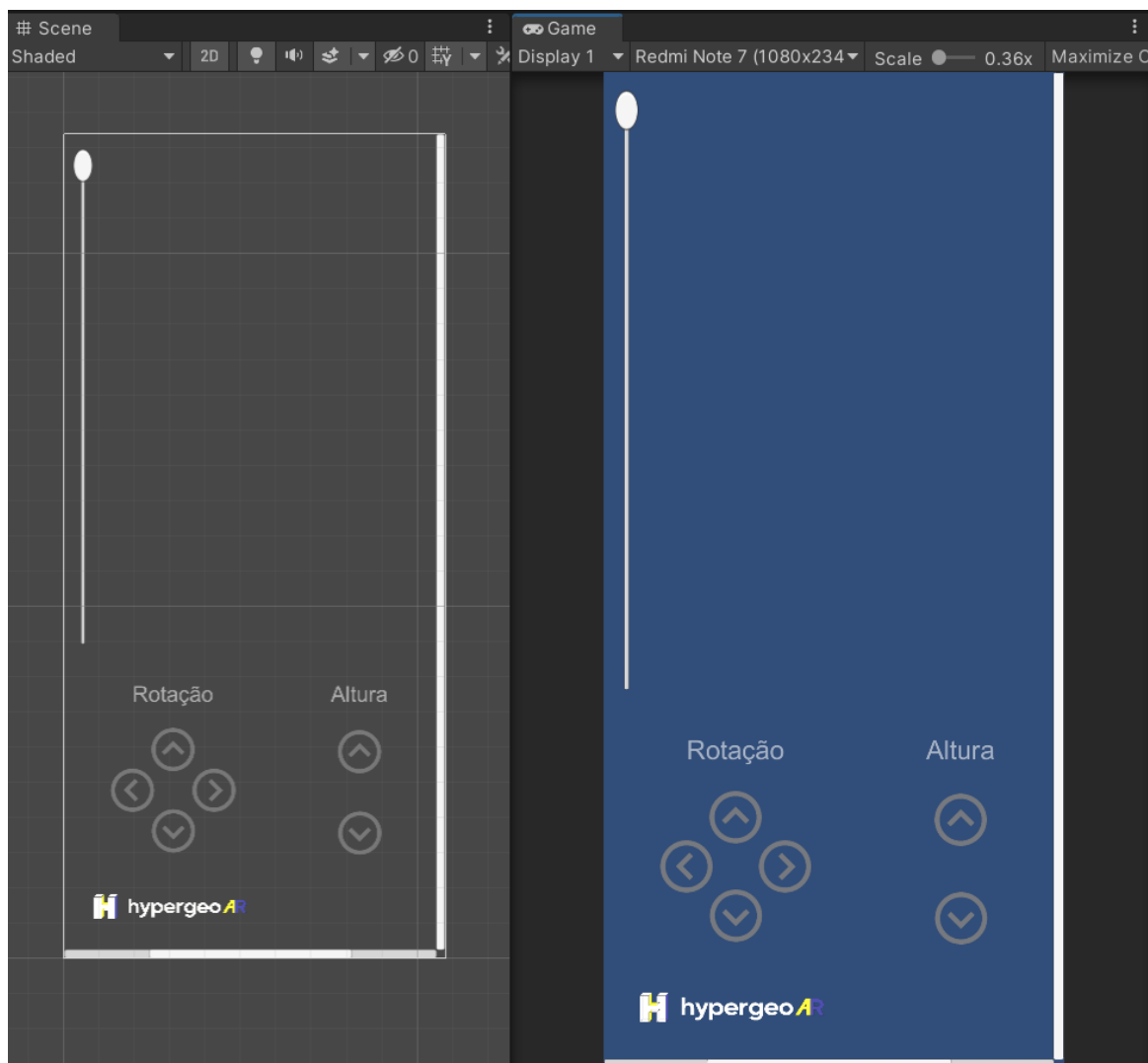
Figura 4.8 - Simulação da translação do objeto 3D no eixo x.



Fonte: Próprio autor.

Do mesmo modo, foi adicionado um botão do tipo *Slider*. Esse botão possibilita que o usuário altere a escala do objeto 3D. Essa alteração pode ser feita deslizando o botão na vertical ou realizando o gesto de pinça com dois dedos. Posteriormente foi adicionada a Logo do HypergeoAR na tela. O projeto final da interface o HypergeoAR pode ser visualizado na Figura 4.9.

Figura 4.9 - Projeto da interface do HypergeoAR adicionado os botões.



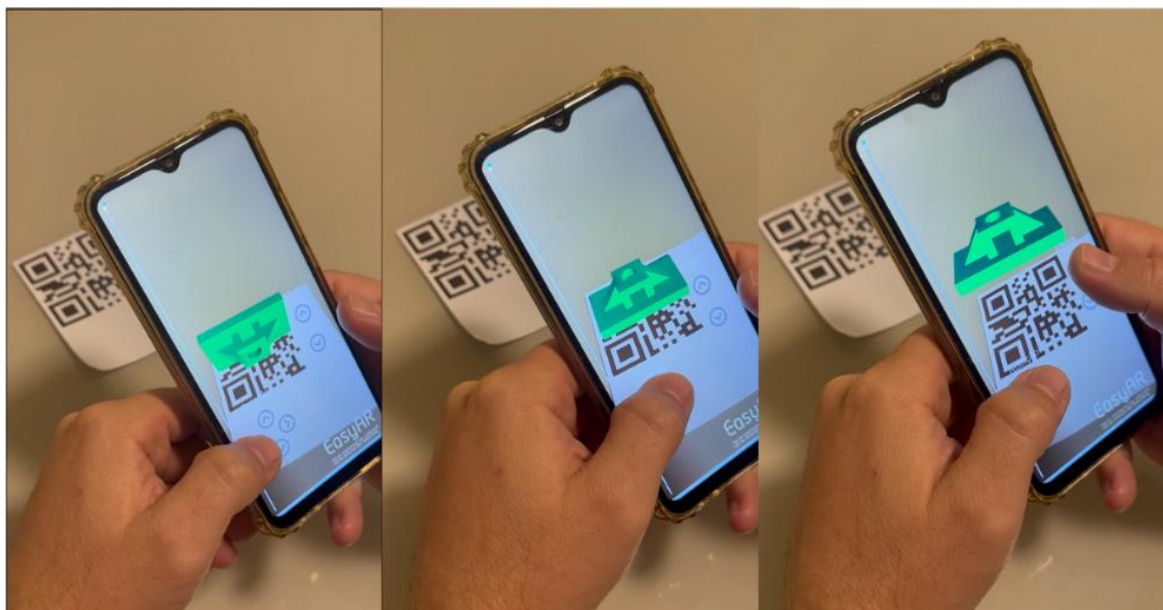
Fonte: Próprio autor.

Com a versão final do projeto da interface com todos os botões virtuais, foi possível gerar o protótipo funcional do HypergeoAR (Figura 4.10).

O protótipo está publicado com o seu código aberto no repositório git³⁵ no endereço: <https://github.com/adrianobezerra1/hypergeoAR>.

³⁵ <https://github.com>

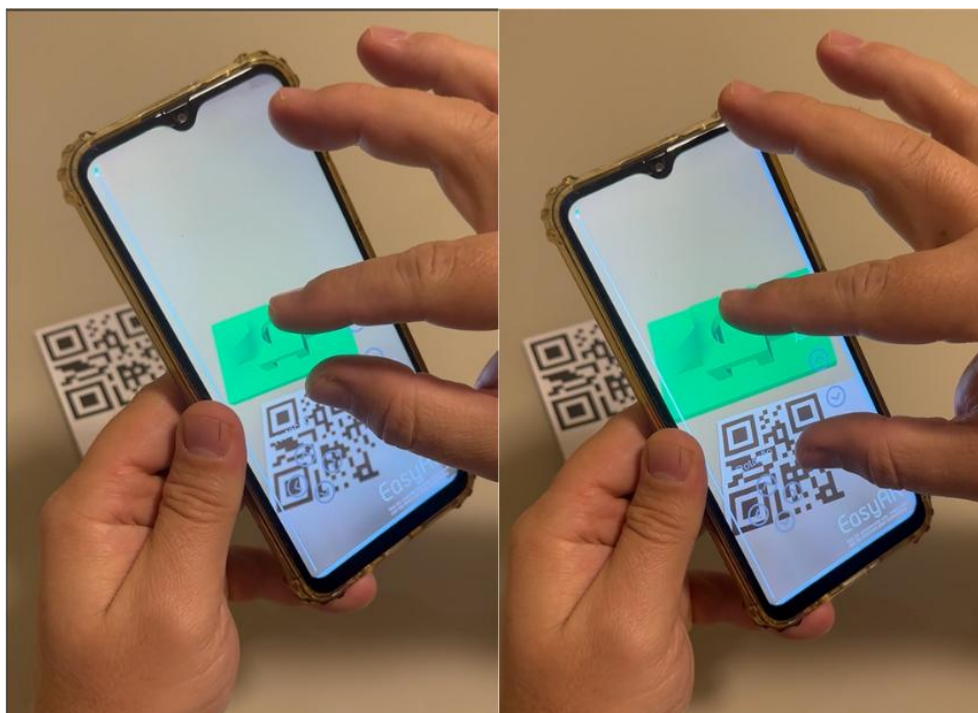
Figura 4.10 - Protótipo funcional do HypergeoAR com botões virtuais.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 4.11 é demonstrado o movimento de pinça com dois dedos, alterando a escala do objeto 3D.

Figura 4.11 - Movimento de pinça na tela do aplicativo para a realização da escala do objeto.



Fonte: Próprio autor.

4.1.4 Testes de execução em dispositivos

Com o protótipo funcional pronto, foi possível realizar os testes de compatibilidade com o HypergeoAR. Por conta de aplicações de RA requerer muitos recursos dos dispositivos, como câmera, memória e processamento, Myers et al. (2011) destacam a crucialidade dos testes de compatibilidade. Estes testes são realizados para assegurar o funcionamento adequado da aplicação nos diversos dispositivos empregados pelos usuários.

Nos testes do HypergeoAR foram utilizados 15 diferentes dispositivos móveis, cada um com suas particularidades em versão do Sistema Operacional (SO) Android, tamanho da tela em polegadas, resolução da câmera, dimensão da câmera em Mega Pixels (MP), processador e memória *Random Access Memory* (RAM). Na Tabela 4.1 são descritos os dispositivos que foram utilizados nos testes.

Tabela 4.1 – Descrição dos dispositivos que realizaram os testes no HypergeoAR.

Dispositivo	SO	Pol. tela	Res. Câmera	MP	Processador	RAM
Motorola Moto g8 play	Android 9 Pie	6.2	720x1520 pixel	13	4x2.1 GHz Cortex-A73 + 4x2.0 GHz Cortex-A53	2GB
Motorola Moto G9	Android 10	6.5	8000x6000 pixel	48	4x2.0 GHz Kryo 260 Gold + 4x1.8 GHz Kryo 260 Silver	4GB
Motorola Moto E7	Android 10	6.5	8000x6000 pixel	48	4x2.0 GHz Cortex-A53 + 4x1.5 GHz Cortex-A53	2GB
Xiaomi PocoM4 pro	Android 11 MIUI 12.5	6.6	8165x6124 pixel	50	2x2.4 GHz Cortex-A76 + 6x2.0 GHz Cortex-A55	4GB
Redmi note 7	Android 10 MIUI 12	6.3	8000 x 6000 pixels	48	4x2.2 GHz Kryo 260 Gold + 4x1.8 GHz Kryo 260 Silver	3GB
Redmi note 8 pro	Android 10 MIUI 11	6.53	1080x2340 pixel	64	2x2.05 GHz CortexA76 + 6x2.0 GHz CortexA55	6GB
Redmi note 12	Android 12 MIUI 13	6.67	1080x2400 pixel	48	2x2.0 GHz Cortex-A78 + 6x1.8 GHz Cortex-A55	4GB
Infinix hot 30i	Android 13 XOS 12.6	6.78	8165x6124 pixel	50	2x2.0 GHz Cortex-A75 + 6x1.8 GHz Cortex-A55	8GB
Samsung Galaxy S10 Plus	Android 11 Samsung One UI 3.0	6.4	4000x3000 pixel	12	4x1.95 GHz Cortex-A55 + 2x2.3 GHz Cortex-A75 + 2x2.7 GHz M4	8GB
Samsung Galaxy S20 Fe	Android 11 Samsung One UI 3.0	6.5	4000x3000 pixel	12	2x2.73 GHz Mongoose M5+2x2.4 GHz Cortex-A76+4x1.9 GHz Cortex-A55	6GB

Samsung Galaxy A12	Android 10 Samsung One UI 2.5	6.5	8000x6000 pixel	48	4x2.3 GHz Cortex-A53 + 4x1.8 GHz Cortex-A53	4GB
Samsung Galaxy A13	Android 12 Samsung One UI 4.1	6.6	8165x6124 pixel	50	4x2.0 GHz Cortex-A55 + 4x2.0 GHz Cortex-A55	4GB
Samsung Galaxy A32	Android 11 Samsung One UI 3.0	6.4	9000x7000 pixel	64	2x2.0 GHz Cortex-A75 + 6x1.8 GHz Cortex-A55	4GB
Samsung Galaxy A51	Android 10 Samsung One UI 2.0	6.5	8000x6000 pixel	48	4x2.3 GHz Cortex-A73 + 4x1.7 GHz Cortex-A53	4GB
Samsung Galaxy M54	Android 13 Samsung One UI 5.1	6.7	12000x9000 pixel	108	4x2.4 GHz Cortex-A78 + 4x2.0 GHz Cortex-A55	8GB

Fonte: Próprio autor.

Diante dos testes realizados com todos os dispositivos da Tabela 4.1 foram observados:

- O HypergeoAR funcionou de maneira eficaz e performou muito bem em dispositivos com uma ampla gama de especificações. A rápida detecção e rastreamento do marcador com o objeto 3D em todos os dispositivos, inclusive nos que possuem especificações mais modestas como o Motorola Moto g8 play e o Moto E7, indica que o HypergeoAR não requer componentes de alta performance para sua execução, alinhando-se bem com a configuração de processadores e memória RAM que variam de 2 GB a 8 GB.
- Em nenhum momento o HypergeoAR travou com estes dispositivos, nem na visualização do objeto 3D, nem quando ocorre a interação do usuário com os botões virtuais que rotacionam, transladam e escalam o objeto.
- No aspecto da visualização, a clareza e objetividade com que os objetos 3D foram exibidos em diferentes resoluções de tela e tamanhos, desde as telas de 6.2 polegadas até as de 6.78 polegadas, com resoluções que variam de 720 x 1520 pixels a 12000 x 9000 pixels, destacam a eficácia do HypergeoAR em renderizar conteúdo de forma consistente.
- Como os testes foram executados em diferentes aparelhos, pode-se garantir a execução do HypergeoAR em um dispositivo com o seguinte

requisito mínimo de hardware: SO Android 9 ou superior, resolução da câmera de no mínimo 720x1550 pixels, com no mínimo 12 Mega Pixels (MP) e 2 Gigabytes (GB). Não foi possível testar em outros aparelhos com hardware inferior, por não se ter acesso a estes dispositivos.

Estes resultados são um testemunho da possibilidade do HypergeoAR de proporcionar uma UX consistente e de alta qualidade, mesmo em dispositivos que podem ser considerados mais antigos ou menos poderosos em termos de especificações de hardware. Esta acessibilidade ampla é um atributo valioso em um mercado diversificado de dispositivos móveis, permitindo que um maior número de usuários desfrute de tecnologias imersivas como a RA.

Para validar a UX do aplicativo foi realizada uma avaliação com alunos do curso de Design da UNESP que será detalhada na próxima seção.

4.2 VALIDAÇÃO BASEADA EM EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO (UX)

O conceito de Experiência do Usuário (tradução livre de *User Experience*, que usa a sigla UX) foi introduzido inicialmente na década de 1990 por Donald Norman durante sua atuação na Apple³⁶. Entretanto, Merholz (1998) aponta que a primeira menção ao termo pode ser encontrada no artigo "*Interface as Mimesis*" de Brenda K. Laurel, publicado em 1986 no livro "*User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*". Este livro foi organizado por Don Norman e Stephen W. Draper (LAUREL, 1986). O termo é mencionado como "*the user's experience*" no último parágrafo da seção "*Interactive Aspects of First Personness*". Também por essa atuação, Donald Norman é frequentemente reconhecido como o primeiro a propor o termo "UX".

Em 2011, foi incluída a ISO 9241³⁷, que aborda ergonomia e a interação homem-máquina, a parte 210, que especifica o design focado no usuário em sistemas interativos, descrevendo a UX como o conjunto de reações e impressões de alguém

³⁶ <https://www.nngroup.com/people/don-norman/>

³⁷ <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:en>

ao utilizar um produto, sistema ou serviço. Em nova atualização em 2018³⁸, também se define como um conjunto amplo que abrange emoções, crenças, preferências, reações físicas e psicológicas, comportamentos e realizações que acontecem antes, durante e depois da interação com um sistema. Essa experiência é moldada por três elementos principais: as características do próprio sistema, as particularidades do usuário e o contexto no qual a interação ocorre (ISO, 2018).

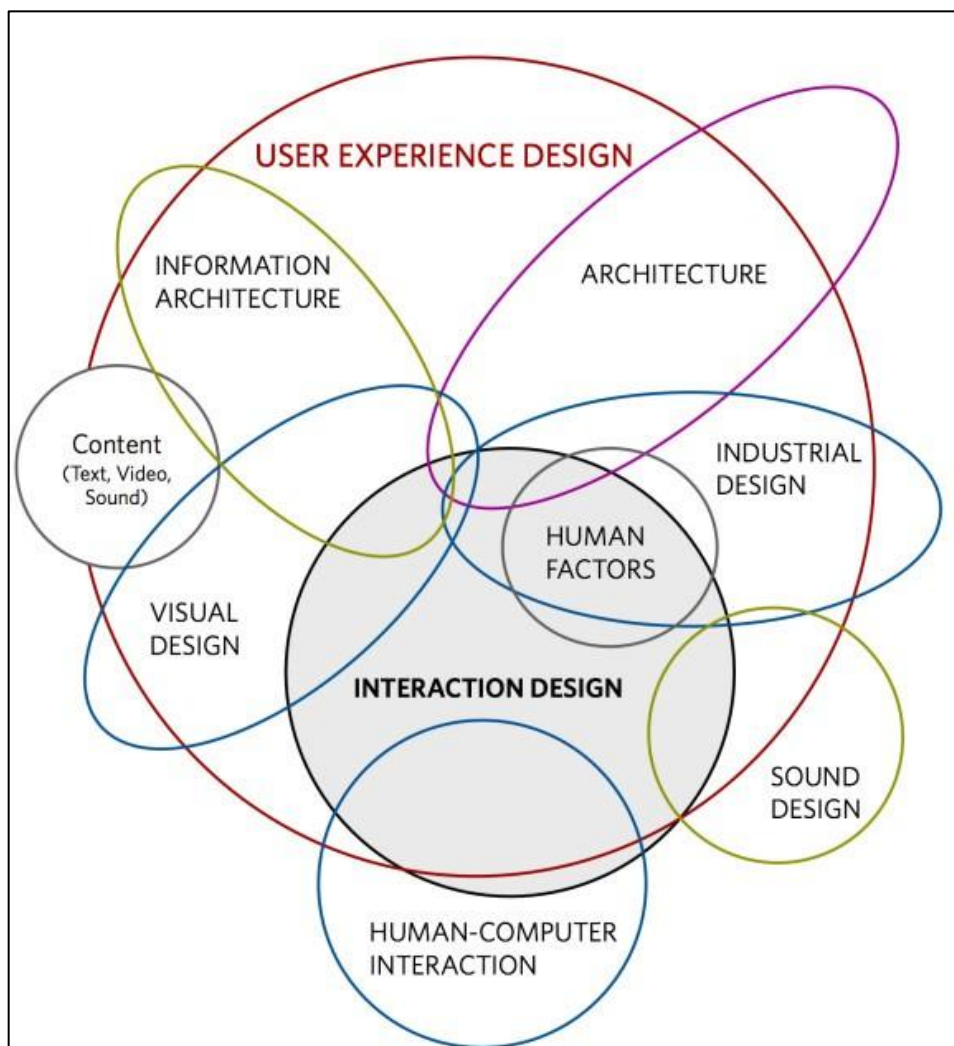
A UX é reconhecida por sua vasta complexidade, englobando diversas dimensões e disciplinas. Ao longo do tempo, designers têm buscado desenvolver modelos que representem a extensa rede de disciplinas, especializações, métodos e técnicas empregadas no desenvolvimento de produtos e na concepção de experiências. Um modelo notável (Figura 4.12) nesse contexto foi criado por Dan Saffer, um renomado designer de interação e autor, em 2006, e posteriormente revisado em 2009 na segunda edição de seu livro "*Designing for Interaction*" (SAFFER, 2009).

O modelo de Saffer ilustra como diversas disciplinas, especializações, métodos e técnicas interagem e se entrelaçam na criação de produtos e UX. Ele busca mapear a complexidade e a multidisciplinaridade envolvidas no design de interação, destacando a interconexão entre os vários elementos que contribuem para a UX final.

Dessa forma, compreender os usuários e suas necessidades demanda a colaboração de uma equipe com expertise diversificada. De acordo com Norman (1998), a prática de UX engloba uma série de habilidades, que incluem realizar pesquisas de campo, desenvolver modelos conceituais para produtos, prototipagem, conduzir testes com usuários, desenhar interfaces gráficas e produtos, além de criar soluções intuitivas que dispensam o uso de manuais.

³⁸ User's perceptions and responses include the users' emotions, beliefs, preferences, perceptions, comfort, behaviours, and accomplishments that occur before, during and after use. (ISO, 2018)

Figura 4.12 - Áreas de influências do UX Design.



Fonte: Saffer (2009).

Ato contínuo, os usuários foram sendo protagonistas na abordagem de desenvolvimento de produtos. Segundo a Associação de Profissionais de Experiência do Usuário (tradução livre de *User Experience Professionals Association - UXPA*)³⁹, a UX refere-se a uma metodologia de desenvolvimento de produtos que integra

³⁹ Criado em 1991, o grupo inicial de 50 integrantes expandiu-se para uma comunidade global de quase 2.400 membros, dedicada a disseminar práticas e conhecimentos de UX. Essa expansão é realizada através de uma conferência internacional anual, publicações de pesquisas e descobertas no *Journal of Usability Studies* (JUS) e na revista *User Experience Magazine*, além da formação de 59 capítulos locais distribuídos por 30 países (Fonte: <https://uxpa.org/about-uxpa-international/>).

continuamente o feedback dos usuários durante todo o processo de criação. Essa abordagem, centrada no ser humano, visa minimizar custos e gerar produtos e ferramentas que não apenas satisfaçam as exigências dos usuários, mas que também sejam intuitivos e fáceis de utilizar (Uxpa, 2020).

Para Norman e Nielsen (2020), a UX envolve a interação do usuário final com o serviço ou produto em seus diferentes aspectos, sendo o seu primeiro requisito atender precisamente às necessidades do usuário, sem qualquer confusão ou incômodo, oferecendo produtos simples e elegantes, que sejam fonte de bons sentimentos.

Se são bons ou maus sentimentos, só o usuário poderá dizer com a sua experiência com o produto, pois segundo Reis (2022), UX é tudo que uma pessoa vivencia ao utilizar um produto. São as suas ações, reações e emoções antes, durante e depois de interagir com ele.

Reis (2020), afirma que a UX é um fenômeno observável, assim como acontece com qualquer fenômeno natural que se deseja entender, melhorar e otimizar, é necessário mensurá-lo de alguma forma. Devido à sua complexidade, avaliar a UX implica considerar diversos aspectos, sendo a usabilidade um dos critérios principais para determinar a facilidade de uso de um produto. Embora a usabilidade seja o critério mais reconhecido e adotado por especialistas e pesquisadores da área, muitas vezes é equivocadamente associada à UX como um todo (BARBOSA et al., 2021).

Trabalhos que envolvem avaliações de aplicações de RA, relacionam a avaliação de UX com a usabilidade (Dünser et al., 2008; Ko et al., 2013; Arifin et al., 2018; Chandana et al., 2023). Segundo Arifin et al. (2018), os dados obtidos por avaliação de usabilidade podem ser usados como métricas em medições de UX.

A ISO 9241-11:2018 e a NBR 9241-11, norma elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), abordam os critérios ergonômicos para a utilização de dispositivos de interação visual. Essa norma estabelece que a usabilidade é a capacidade de um produto ser operado por usuários determinados para atingir metas específicas com eficácia, eficiência e satisfação, dentro de um

contexto específico de uso. O bem-estar do usuário, refletido na falta de desconforto e na presença de reações positivas ao empregar um produto, é o que caracteriza a satisfação.

Segundo Wang e Senecal (2007), a avaliação de usabilidade mede a facilidade de uso das funções de uma aplicação e quão bem elas permitem que os usuários executem suas tarefas de forma eficiente. Da mesma forma, para Nielsen (2012), a usabilidade é uma característica de qualidade que mede quão fácil é utilizar as interfaces de usuário. Esta característica está também associada ao uso técnicas empregadas durante o processo de design, as heurísticas (Nielsen, 2012).

Em psicologia, heurística refere-se a atalhos cognitivos que ajudam (ou prejudicam) os humanos na tomada de decisões (Groner et al.1983). Na ciência da computação e no desenvolvimento de algoritmos, uma heurística é uma função que aproxima uma solução, que pode não ser ótima, mas troca velocidade pela otimização no retorno de uma solução (Apter,1970). No design de interfaces de usuário, o termo é quase sinônimo de diretrizes e pode ser usado tanto por designers quanto por avaliadores. Certamente, as heurísticas de design mais famosas são as dez heurísticas de usabilidade de Nielsen e Molich (1990).

A avaliação heurística é um método de inspeção baseado na avaliação de um sistema real ou protótipo, conduzido por especialistas (Nielsen e Molich, 1990). O termo “especialista” é usado em oposição a “usuários”, mas em muitos casos os avaliadores não precisam ser especialistas em usabilidade (Nielsen, 1994).

Segundo Torrente (2011), a avaliação heurística apresenta diversas vantagens sobre outras técnicas: sua implementação é fácil, rápida e barata e é adequada para todas as fases do ciclo de vida do software e não requer planejamento prévio.

Agni (2015) define como uma característica intrínseca ao ser humano, que possibilita a descoberta ou resolução de problemas através da experiência prática, observação e criatividade. Para que a análise heurística seja eficaz, ela depende de três componentes principais: um grupo de avaliadores com experiência em usabilidade, a interface a ser examinada e a lista de princípios de usabilidade (as

heurísticas).

Há uma diversidade de heurísticas disponíveis, que evoluem junto com as tecnologias e contextos computacionais. Entre essas, destaca-se a lista desenvolvida por Nielsen (1994), que é amplamente reconhecida entre designers e profissionais de usabilidade. Essa lista apresenta 10 princípios gerais para o design de interação, originários do trabalho conjunto com Rolf Molich (Nielsen e Molich, 1990). Nielsen refinou essas heurísticas após analisar 249 problemas de usabilidade, tornando-as um marco no campo do design de interação e usabilidade, são elas:

1 - Visibilidade do Status do Sistema: informar o usuário sobre o que está acontecendo em um tempo razoável. Isso significa que o usuário deve ter clareza sobre o estado atual do sistema e quais ações estão sendo executadas;

2 - Correspondência entre o sistema e o mundo real: linguagem e os diálogos do sistema devem ser simples e naturais, voltados para o usuário e não para o sistema;

3 - Controle e liberdade do usuário: elementos de escolha devem ser acessíveis para que o usuário não perca tempo. Além disso, o usuário deve ter a liberdade de desfazer ações ou voltar atrás sem dificuldades;

4 - Consistência e padrões: comandos e ações devem ter sempre o mesmo significado. Isso cria uma experiência previsível e facilita a aprendizagem do sistema.

5 - Prevenção de erros: o sistema deve identificar possibilidades de erro e modificar a interface para evitá-los. Isso inclui validações, feedback claro e restrições para evitar ações indesejadas;

6 - Reconhecimento em vez de memorização: as instruções para uso do sistema devem estar visíveis ou facilmente recuperáveis. Os usuários não devem precisar memorizar informações complexas;

7 - Flexibilidade e eficiência de uso: o sistema deve ser flexível o suficiente para atender tanto a usuários novos quanto experientes. Atalhos e recursos que agilizam a navegação são bem-vindos;

8 - Estética e design minimalista: priorize diálogos com informações relevantes. Evite sobrecarregar o usuário com elementos desnecessários;

9 - Auxílio ao usuário para reconhecer, diagnosticar e recuperar erros: quando ocorrerem erros, o sistema deve fornecer soluções claras e mensagens que identifiquem o problema. O objetivo é ajudar o usuário a encontrar uma saída construtiva.

10 - Ajuda e documentação: a ajuda e a documentação devem estar facilmente acessíveis e disponíveis online. Isso permite que os usuários encontrem respostas para suas dúvidas rapidamente.

Através da avaliação heurística, Nielsen (1994a) entende ser possível encontrar os problemas de usabilidade em um design de interface de usuário, os como parte de um processo de design iterativo: "A avaliação heurística envolve ter um pequeno conjunto de avaliadores examinando a interface e julgando sua conformidade com princípios de usabilidade reconhecidos (as "heurísticas")"

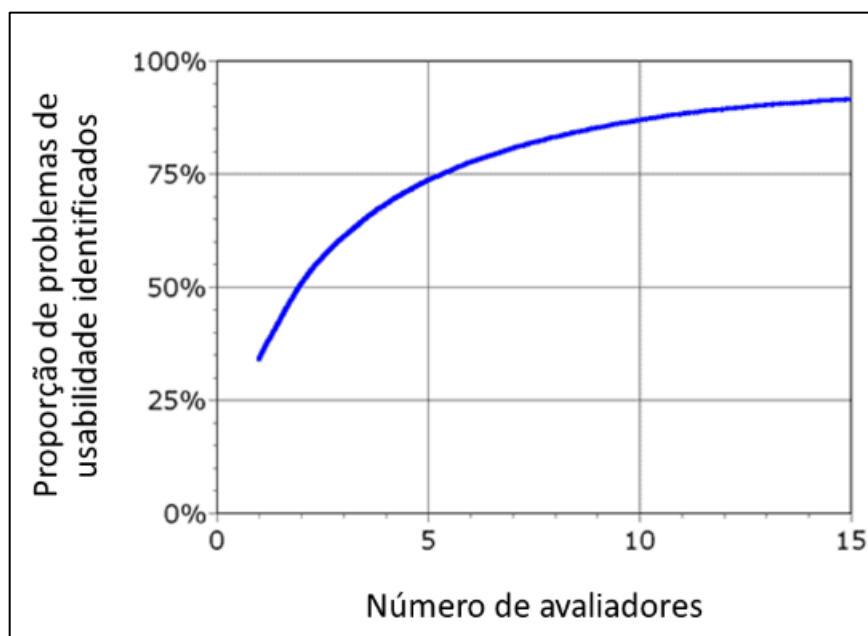
Neste contexto, Nielsen (1994a) descreve a avaliação heurística como um método para identificar problemas de usabilidade em designs de interfaces de usuário, fazendo parte de um processo de design iterativo, no qual um pequeno grupo de avaliadores analisa a interface para verificar se ela está alinhada com princípios estabelecidos de usabilidade (as "heurísticas"). A ideia é que, ao examinar a interface sob a ótica das heurísticas, seja possível detectar e, conseqüentemente, corrigir problemas que possam prejudicar a experiência do usuário ao interagir com a aplicação. Destaca-se que cada avaliador realiza uma inspeção individual da interface, e suas conclusões são posteriormente reunidas para uma análise mais abrangente.

Nielsen (2000) aponta que testar a interface com apenas cinco usuários é suficiente para revelar cerca de 75% dos problemas de usabilidade em uma única sessão de avaliação. Assim, mesmo um pequeno número de avaliações pode ser extremamente eficaz para identificar a maioria dos problemas de usabilidade.

De acordo com os estudos de Nielsen (1994), um único avaliador consegue

detectar 35% dos problemas de usabilidade em interfaces. Este percentual tende a elevar-se à medida que se adicionam mais avaliadores à análise, conforme é apresentado na Figura 4.13.

Figura 4.13 - Evolução dos problemas de usabilidade identificados de acordo com o aumento dos avaliadores.



Fonte: Nielsen (1994)

Embora as heurísticas sejam adequadas para avaliar a maioria das interfaces de usuário, ainda é necessário estabelecer heurísticas para domínios específicos (Phan et al., 2016; Quinões e Rusu, 2017). Exemplos dessa necessidade podem ser encontrados nos trabalhos de Hooshyar et al. (2018), Yanez et al. (2019) e Joyce (2021).

Hooshyar et al. (2018) adaptaram heurísticas para avaliar a técnica de Geração Procedimental de Conteúdo (PCG) em jogos educativos. Com o apoio de algoritmos são oferecidos jogos com conteúdo e níveis de dificuldades personalizados ao jogador.

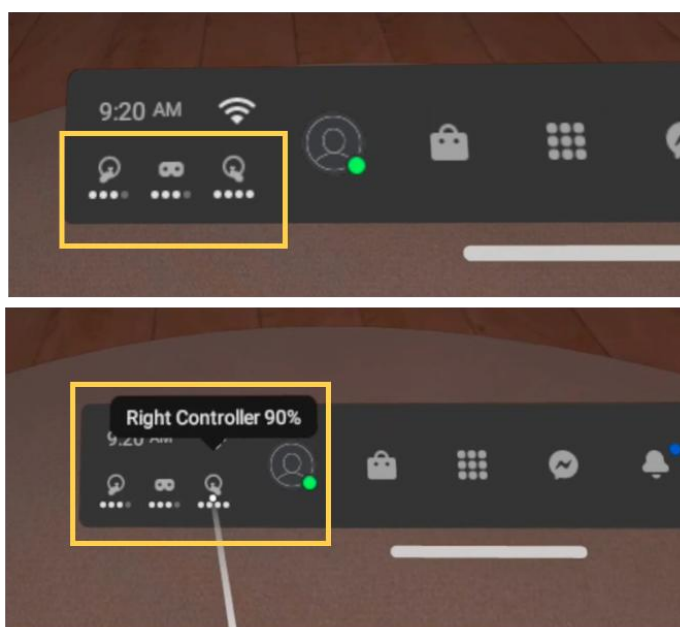
Yanez et al. (2019) apresentam a ferramenta *Meta-heUristics uSability Evaluation* (MUSE) para avaliação de jogos. Essa ferramenta permite a criação de diretrizes heurísticas personalizadas para jogos com base na seleção de metadados específicos para cada caso de avaliação real.

Joyce (2021), aborda as 10 heurísticas de Nielsen aplicadas para aplicações de Realidade Virtual (RV), dando exemplos de aplicações utilizando o *Oculus Quest headset*⁴⁰. No seu artigo a autora relata que as heurísticas mantêm relevância de sites e aplicativos móveis a videogames e, até mesmo à RV. Pela proximidade da tecnologia quem RV possui com RA, a seguir serão demonstradas as heurísticas adaptadas à RV com ilustrações para melhor compreensão, são elas:

1 - Visibilidade do status do sistema: no *Oculus Quest*, a vida útil da bateria e de dois controladores é claramente indicada, oferecendo feedback essencial sobre o estado do sistema aos usuários (Figura 4.14);

2 - Correspondência entre o sistema e o mundo real: a ferramenta *Immersed*⁴¹ cria ambientes de trabalho digitais que imitam espaços reais, como cafeterias e salas de conferência, tornando a experiência intuitiva para os usuários (Figura 4.15);

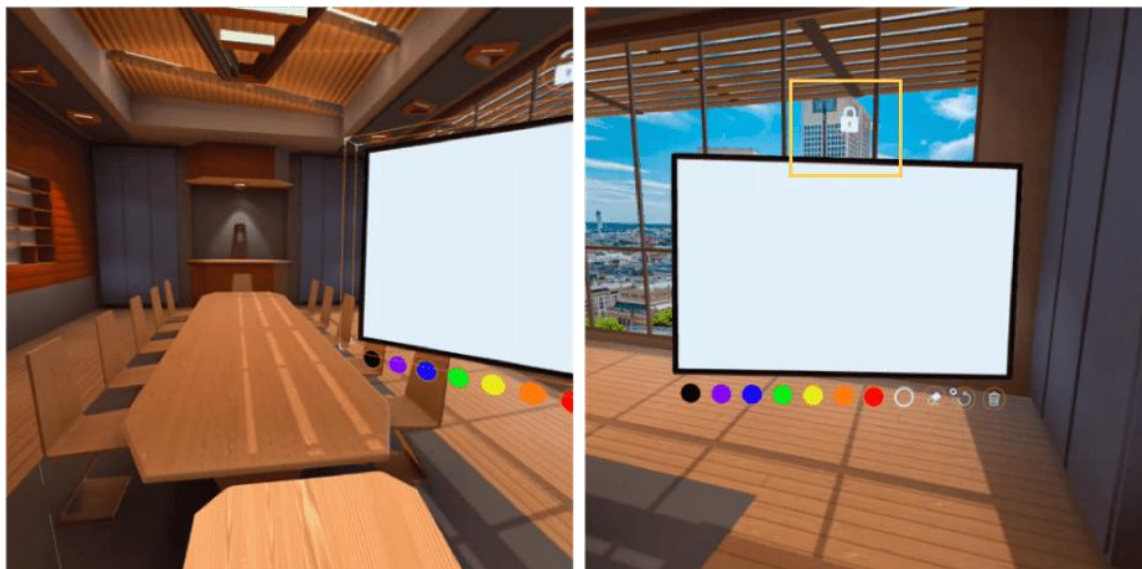
Figura 4.14 - O menu universal no *Oculus*.



Fonte: Joyce (2021).

⁴⁰ <https://www.oculus.com/quest/refurbished/>

⁴¹ <https://immersed.com/>

Figura 4.15 – Ambiente da *Immersed*.

Fonte: Joyce (2021).

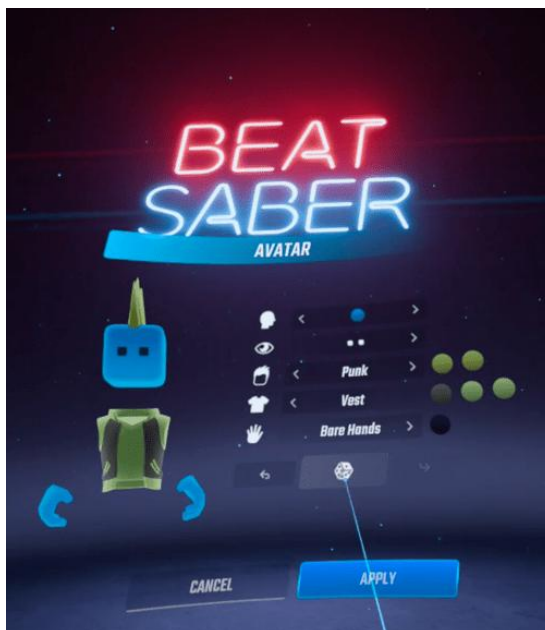
3 - Controle e liberdade do usuário: no jogo *Beat Saber*⁴², a presença de botões de cancelamento e voltar permite que os usuários desfaçam ações indesejadas facilmente, mantendo a sensação de controle (Figura 4.16);

4 - Consistência e padrões: a plataforma de design 3D *Gravity Sketch*⁴³ relata a importância da consistência, no qual a escolha de design para interruptores confunde os usuários, destacando a necessidade de seguir padrões convencionais. O botão apresentado na Figura 4.17 não está em conformidade com o padrão de design convencional para um botão liga-desliga, embora se use o mesmo design de controle deslizante para botões liga-desliga em todo o aplicativo;

⁴² <https://beatsaber.com/>

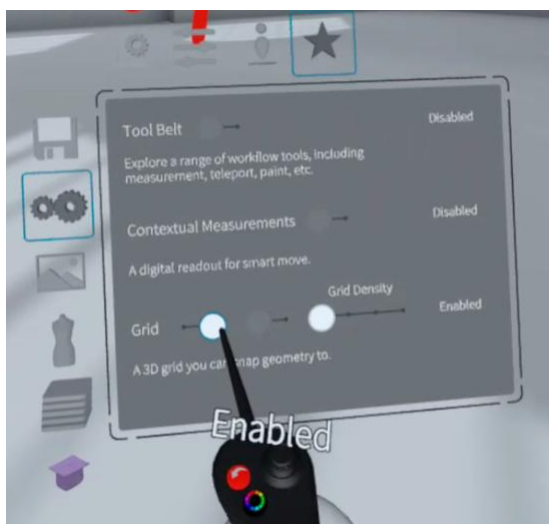
⁴³ <https://www.gravitysketch.com/>

Figura 4.16 – Botão **Cancelar** do *Beat Saber* oferece uma reversão para o estado anterior.



Fonte: Joyce (2021).

Figura 4.17 – Botões fora do padrão do *Gravity Sketch*.

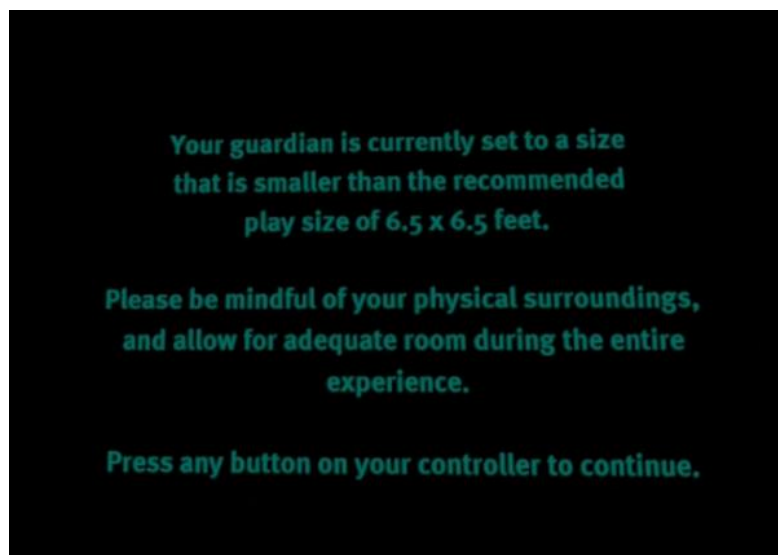


Fonte: Joyce (2021).

5 - Prevenção de erros: o jogo *Vader Immortal*⁴⁴ usa um sistema de "guardião" para prevenir erros, avisando os jogadores quando eles se aproximam dos limites do espaço de jogo, evitando assim possíveis problemas (Figura 4.18);

⁴⁴ <https://www.oculus.com/vader-immortal/>

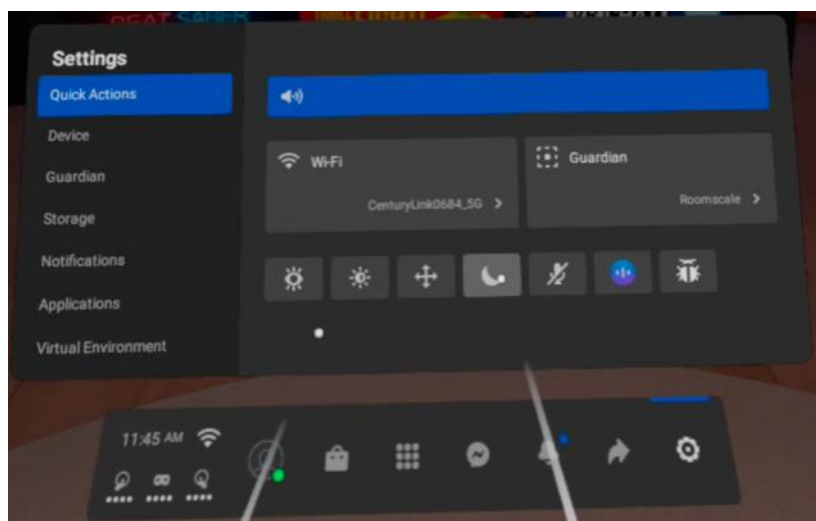
Figura 4.18 – alerta do jogo *Vader Immortal* .



Fonte: Joyce (2021).

6 - Reconhecimento em vez de memorização: uso de ícones não rotulados no *Oculus* aumenta a carga de memória dos usuários, demonstrando a importância de tornar as informações visíveis e facilmente reconhecíveis (Figura 4.19);

Figura 4.19 - O uso de ícones sem rótulos pela *Oculus*.



Fonte: Joyce (2021).

7 - Flexibilidade e eficiência de uso: novamente no jogo *Beat Saber* é permitido que os jogadores personalizem sua experiência de jogo, oferecendo uma experiência mais flexível, adaptável e agradável para diferentes níveis de usuários (Figura 4.20);

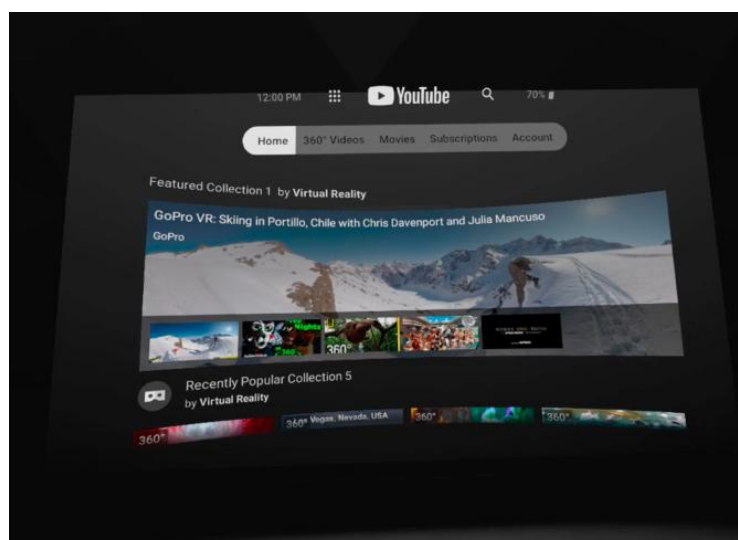
Figura 4.20 - As adaptações de jogo do Beat Saber.



Fonte: Joyce (2021).

8 - Estética e design minimalista: O *YouTube VR*⁴⁵ apresenta uma interface minimalista, concentrando-se nas ações principais dos usuários e evitando informações desnecessárias (Figura 4.21);

Figura 4.21 - A página inicial minimalista do *YouTube VR* foi adaptada às ações primárias do usuário.



Fonte: Joyce (2021).

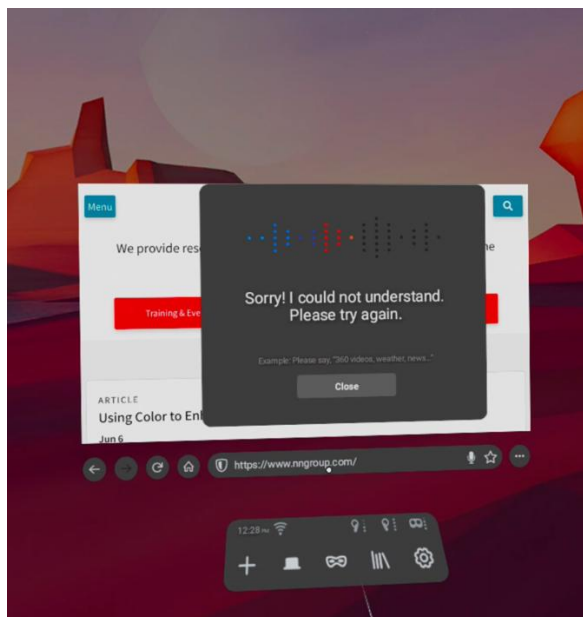
9 - Auxílio ao usuário para reconhecer, diagnosticar e recuperar de erros: a falta de mensagens de erro úteis em *Firefox Reality*⁴⁶ destaca a necessidade de fornecer

⁴⁵ <https://www.meta.com/pt-br/experiences/2002317119880945/>

⁴⁶ <https://www.meta.com/pt-br/experiences/firefox-reality/2180252408763702/>

aos usuários sugestões claras e construtivas para resolver problemas (Figura 4.22);

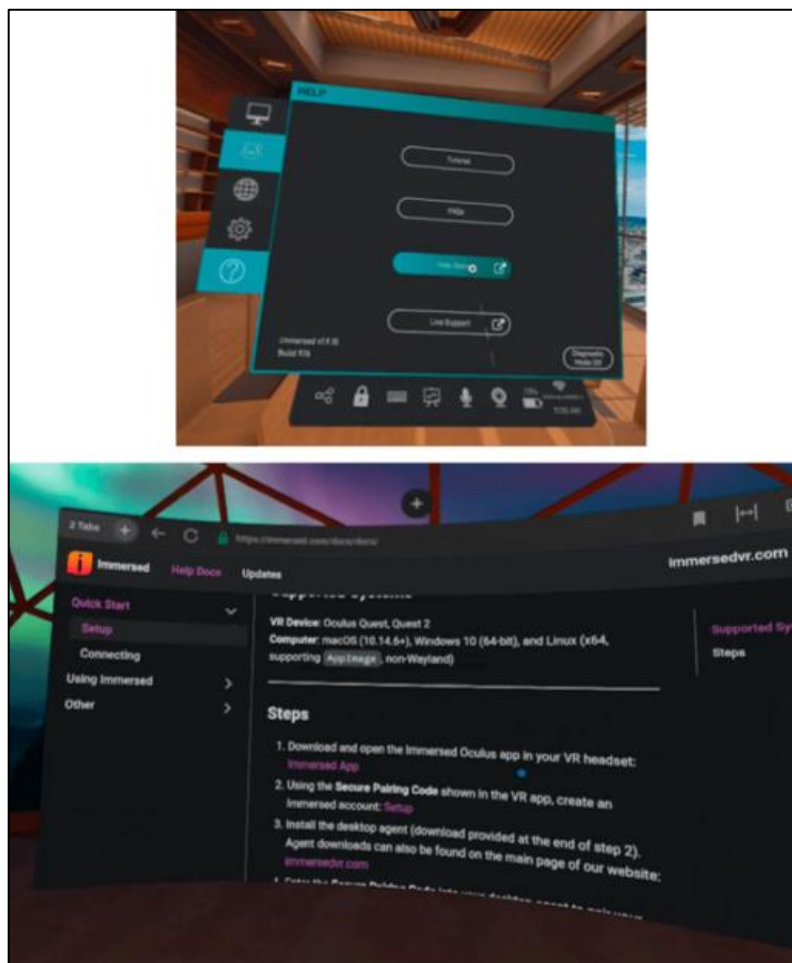
Figura 4.22 - A mensagem de erro do *Firefox Reality* necessitava de diagnóstico ou pedido de ajuda.



10 - Ajuda e documentação: a aplicação *Immersed* oferece vários recursos de suporte, como tutoriais em vídeo e documentação, tornando a ajuda facilmente acessível e útil para os usuários (Figura 4.23).

Este estudo evidencia que as heurísticas podem ser adaptadas a aplicações com diversas interfaces, destacando que, na ausência dessas heurísticas, a UX em aplicações de RV, como ilustrado por Joyce (2021), pode tornar-se insatisfatória para o uso, comprometendo sua possível aceitação.

Figura 4.23 - As páginas de ajuda da *Immersed* são fáceis de acessar, organizadas e digitalizáveis.



Fonte: Joyce (2021).

Labrie et al. (2020), examinaram a usabilidade das aplicações de RA para dispositivos móveis e interpretaram as heurísticas de usabilidade de Nielsen. Os autores focaram em adaptar as heurísticas apenas para aplicativos de RA de design de interiores devido à sua popularidade e capacidade de incorporar esquemas importantes de interação em RA. No estudo é indicada a importância para os designers considerarem a falta de familiaridade da tecnologia de RA para a grande maioria dos usuários e levarem em conta as limitações tecnológicas ao projetar aplicativos de RA.

Em um estudo mais atual, Ko et al. (2023), desenvolveram princípios de

usabilidade para aplicativos de RA em dispositivos móveis, analisando pesquisas existentes sobre métodos de avaliação heurística, princípios de design para sistemas de RA, diretrizes para interfaces de dispositivos móveis portáteis e princípios de usabilidade para a interface tangível. Contudo, o estudo foi direcionado apenas a desenvolver princípios de usabilidade para aplicativos de RA com base nas informações de localização (GPS) do dispositivo e não para aplicativos de RA utilizando marcadores. As heurísticas definidas por Nielsen e Molich (1990) também serviram de base para este estudo.

4.2.1 Proposta de adaptação de heurísticas para validação de RA

Como visto na seção anterior, as heurísticas de Nielsen podem ser utilizadas como um método de avaliação de usabilidade eficaz e valioso, além de poder ser aplicado em outros tipos de interfaces, como as de RV. Dessa forma, também é possível descrever um método de avaliação baseado nas heurísticas para avaliar aplicações em RA no contexto deste trabalho.

Desse modo, as 10 heurísticas foram escolhidas para serem utilizadas para apoiar a avaliação da aplicação HypergeoAR. Para isso, foi necessário fazer uma relação entre as heurísticas de Nielsen aplicadas para RV e RA.

Na Tabela 4.2, é apresentada essa relação entre a aplicabilidade das 10 heurísticas de Nielsen, sua aplicação na RV conforme Joyce (2021) e exemplos de como seria aplicada em RA.

Tabela 4.2 - Descrição de uso das heurísticas de Nielsen adaptadas para RA.

Heurística de Nielsen	Em Realidade Virtual (RV) (Joyce, 2021)	Exemplos em Realidade Aumentada (RA)
------------------------------	--	---

1. Visibilidade do status do sistema	No <i>Oculus Quest</i> , a vida útil da bateria do headset e dos controles é exibida, proporcionando feedback sobre o estado do sistema.	Quando um objeto virtual é sobreposto ao ambiente real, o usuário precisa visualizar e entender claramente sua posição e estado.
2. Correspondência entre o sistema e o mundo real	Em <i>Immersed</i> , ambientes de trabalho digitais como cafeterias e salas de conferências são usados, seguindo convenções do mundo real.	Os elementos de interface devem ser intuitivos e alinhados com o mundo real. Isso ajuda os usuários a entenderem como interagir com objetos virtuais no ambiente físico.
3. Controle e liberdade do usuário	Em <i>Beat Saber</i> , botões de cancelamento permitem aos usuários abandonarem ações não desejadas, como a customização de avatares.	As aplicações de RA devem oferecer opções de escolha e permitir que os usuários controlem sua experiência. Por exemplo, permitir que o usuário ajuste a escala de um objeto virtual.
4. Consistência e padrões	Em <i>Gravity Sketch</i> , um desvio dos padrões convencionais de interruptores <i>on-off</i> confunde os usuários, destacando a importância da consistência.	As aplicações devem manter padrões consistentes na apresentação de informações e interações. Isso ajuda os usuários a aprenderem rapidamente como usar a aplicação.
5. Prevenção de erros	Em <i>Vader Immortal</i> , um sistema de "guardião" avisa os jogadores quando eles se aproximam dos limites do espaço de jogo, prevenindo erros.	Projetar interfaces de RA para evitar sobreposições confusas de objetos virtuais e reais. Por exemplo, evitar que objetos virtuais se sobreponham a paredes para evitar colisões.
6. Reconhecimento em vez de memorização	No <i>Oculus</i> , ícones não rotulados com <i>tooltips</i> forçam os usuários a memorizarem ou descobrir seus significados, o que aumenta a carga de memória.	Oferecer dicas visuais em RA para guiar interações com o ambiente.
7. Flexibilidade e eficiência de uso	Em <i>Beat Saber</i> , os jogadores podem modificar sua experiência de jogo, criando uma experiência de jogo flexível e personalizável.	Oferecer atalhos ou personalizações para usuários experientes em RA.
8. Estética e design minimalista	O <i>YouTube VR</i> fornece uma interface minimalista, focando nas ações principais dos usuários, como assistir a vídeos VR e pesquisar.	Priorizar informações relevantes e evitar elementos desnecessários. Simplicidade do design melhora a experiência.

9. Auxílio ao usuário para reconhecer, diagnosticar e recuperar erros	<i>Firefox Reality</i> mostra a importância de mensagens de erro claras e úteis, falhando ao fornecer sugestões construtivas após falhas de comando de voz.	Quando ocorrem erros (como falhas de rastreamento), a aplicação deve fornecer feedback claro e orientações para solucionar o problema.
10. Ajuda e documentação	<i>Immersed</i> oferece aos usuários uma variedade de suportes, incluindo tutoriais em vídeo e documentação de ajuda, facilitando o acesso à assistência.	Disponibilizar tutoriais ou guias. Os usuários devem ter acesso fácil a informações sobre como usar a aplicação de RA.

Fonte: Próprio autor.

As diferenças e semelhanças entre RV e RA nas aplicações dessas heurísticas destacam a importância de abordagens adaptadas às características únicas de cada tecnologia. Ademais, as heurísticas não compreendem elementos particulares de UX que possibilitem avaliar o bem-estar e a satisfação do usuário.

4.2.2 Agrupamento das heurísticas para validação do HypergeoAR.

Visando compreender aspectos tanto de usabilidade, quanto de UX, em aplicações de RA as 10 heurísticas podem ser agrupadas em 5 componentes definidos por Nielsen (1994b, p. 26) e Nielsen (2012) para avaliação de interfaces. Os cinco componentes são:

1 - Aprendizagem: Quão fácil é para os usuários realizarem tarefas básicas na primeira vez que encontram o design?

2 - Eficiência: Depois que os usuários aprenderem o design, com que rapidez eles poderão executar as tarefas?

3 - Facilidade de memorização: Quando os usuários retornam ao design após um período sem utilizá-lo, com que facilidade eles podem restabelecer a proficiência?

4 - Erros: quantos erros os usuários cometem, qual a gravidade desses erros e com que facilidade eles podem se recuperar dos erros?

5 - Satisfação: Quão agradável é usar o design?

Dentro desse contexto é possível agrupar os 5 componentes de Usabilidade com as 10 heurísticas de Nielsen para aplicações de RA da seguinte forma:

1 - Aprendizagem:

- Visibilidade do status do sistema e Correspondência entre o sistema e o mundo real: Essas heurísticas ajudam os novos usuários a entenderem rapidamente o estado atual do sistema e como as ações no mundo virtual correspondem a ações e objetos familiares no mundo real. Isso facilita a aprendizagem inicial e ajuda os usuários a se sentirem confortáveis no ambiente de RA desde o primeiro contato.

2 - Eficiência:

- Flexibilidade e eficiência de uso e Consistência e padrões: Após a fase inicial de aprendizagem, a eficiência torna-se crucial. A consistência no design e a disponibilidade de atalhos ou modos de interação avançados permitem que os usuários realizem tarefas rapidamente, aumentando a eficiência de uso da aplicação de RA.

3 - Facilidade de Memorização:

- Reconhecimento em vez de memorização: Ao minimizar a necessidade de os usuários se lembrarem de informações de uma parte da interface para outra, e ao utilizar elementos de design que são facilmente reconhecíveis, as aplicações de RA tornam-se mais fáceis de serem retomadas após um período sem uso.

4 - Erros:

- Prevenção de erros e Auxílio ao usuário para reconhecer, diagnosticar e recuperar de erros: A prevenção de erros é crucial para evitar frustrações, especialmente em um ambiente de RA onde o mundo físico e o virtual se sobrepõem. Quando os erros ocorrem, é importante que os usuários possam reconhecê-los, entender suas causas e recuperar-se

deles de maneira intuitiva.

5 - Satisfação:

- Estética e design minimalista e Ajuda e documentação: Uma interface esteticamente agradável, que evita a sobrecarga de informações, juntamente com a disponibilidade de ajuda e documentação acessível, contribui significativamente para a satisfação do usuário. Esses elementos garantem que a experiência de RA seja não apenas funcional, mas também agradável.

A heurística Controle e liberdade pode ser incluída tanto no componente de “Eficiência”, quando o usuário pode alterar uma escala de um objeto para melhor visualizar um detalhe, quanto no componente “Satisfação”, no qual o aplicativo poderia dar a possibilidade de o objeto voltar a posição original ou até mesmo ter a opção de desfazer alguma alteração que a aplicação de RA permitir.

Como forma de exemplificar o agrupamento os 5 componentes de usabilidade definidos por Nielsen (1994b, p. 26) e as 10 heurísticas no contexto de aplicações de RA, é possível imaginar a UX de uma aplicação de RA para navegação em mapas com uma viagem a um destino desconhecido. Os 5 componentes de usabilidade representam aspectos cruciais dessa jornada e as 10 heurísticas funcionam como orientações para garantir uma viagem segura, eficiente e agradável:

1 - Aprendizagem (primeiro contato com o design): imagine que um usuário está aprendendo a navegar por uma nova cidade utilizando RA. A "Visibilidade do Status do Sistema" e a "Correspondência entre o Sistema e o Mundo Real" atuam como sinais claros e mapas intuitivos, respectivamente, facilitando a orientação inicial e ajudando o usuário a se familiarizar rapidamente com o ambiente;

2 - Eficiência (execução rápida de tarefas): uma vez familiarizado com a cidade, o usuário deseja explorá-la eficientemente. "Flexibilidade e Eficiência de Uso" e "Consistência e Padrões" são como opções de transporte eficazes e regras de trânsito consistentes que permitem ao usuário se mover rapidamente e sem esforço;

3 - Facilidade de Memorização (retorno após intervalo): se o usuário deixar a cidade e voltar depois de algum tempo, a "Reconhecimento em Vez de Memorização" é como marcações familiares que ajudam a lembrar rapidamente como navegar, tornando o retorno à cidade o mais tranquilo possível;

4 - Erros (identificação e recuperação): eventuais erros durante a viagem, como entrar em uma rua sem saída, são mitigados pela "Prevenção de Erros" e pelo "Auxílio ao Usuário para Reconhecer, Diagnosticar e Recuperar de Erros", que funcionam como avisos antecipados e guias locais disponíveis para ajudar o usuário a retomar o caminho certo rapidamente;

5 - Satisfação (experiência agradável): por fim, a "Satisfação" do usuário em sua jornada pela cidade de RA é assegurada pela "Estética e Design Minimalista" e pela "Ajuda e Documentação" acessíveis, que garantem uma experiência visualmente agradável e suporte sempre à mão, tornando a viagem memorável e satisfatória.

Desta forma, cada heurística de Nielsen proporciona um elemento-chave para garantir que a viagem do usuário pela RA seja não apenas possível, mas também eficiente, memorável e agradável, abordando os principais aspectos que afetam o bem-estar e a satisfação do usuário.

Para a avaliação do HypergeoAR foi escolhida uma abordagem qualitativa onde se encaixa a avaliação heurística e os critérios de usabilidade. Segundo Volpato, (2014), quando a abordagem é qualitativa, o interesse está em compreender como as pessoas utilizam algo e qual é a razão por trás dessa forma. O objetivo é identificar diferentes comportamentos, opiniões e atitudes em relação ao produto.

A escolha do público-alvo nesta abordagem qualitativa e o conteúdo das perguntas são detalhadas na próxima seção.

4.2.3 Público-alvo e conteúdo das perguntas.

Como o HypergeoAR será utilizado em disciplinas que envolvam o estudo de Desenho Técnico (DT), o público-alvo escolhido foram os alunos do curso de Design da FAAC da UNESP, campus de Bauru, no qual a professora Vânia Cristina Pires

Nogueira Valente leciona.

Um dos objetivos deste projeto é possibilitar que o HypergeoAR auxilie na visualização das peças 3D para que os alunos consigam projetar suas projeções nas aulas de DT. Dessa forma, a avaliação foi realizada após os alunos já terem visto os conceitos de representação gráfica, obedecendo o cronograma da disciplina.

Para aplicar essa pesquisa, utilizou-se o questionário como técnica prática de mediação. Esse método operacional foi escolhido para coletar dados dos indivíduos estudados a respeito do tema analisado. A elaboração de perguntas diretas e bem definidas foi estratégica para prevenir dificuldades frequentes, tais como confusões, ambiguidades, respostas curtas e insuficientes (Severino, 2007).

O questionário é reconhecido como uma metodologia de pesquisa que envolve várias perguntas formuladas por escrito, destinadas a coletar informações sobre opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas e experiências vividas (GIL, 1999, p. 128). Esta técnica é implementada junto a um conjunto significativo de indivíduos previamente selecionados, representando uma fração do universo total em estudo, que é o foco da investigação. As conclusões alcançadas a partir dessa amostra são então extrapoladas para abranger a totalidade do universo pesquisado.

A maior parte das questões presentes no questionário era de natureza fechada, com respostas a serem escolhidas dentre as alternativas fornecidas pelo pesquisador. O respondente selecionava a opção que melhor refletia suas características, pensamentos e emoções. Entretanto, incluiu-se também uma pergunta aberta, permitindo que o avaliador expressasse sua opinião em frases completas, utilizando suas próprias palavras, sem limitação a respostas pré-definidas. (Severino, 2007; RICHARDSON, 1999).

Para medir as reações dos avaliadores quanto à utilização do HypergeoAR, o instrumento aplicado no questionário foi a escala de *Likert*.

A abordagem *Likert*, criada por *Rensis Likert* nos anos 1930, mostrou-se a mais eficaz para mensurar informações tanto qualitativas quanto quantitativas. Essa metodologia reúne uma série de afirmações que refletem opiniões positivas e

negativas dos participantes sobre a aplicação analisada, com cada afirmação avaliada em uma escala de cinco pontos, variando de "totalmente de acordo" a "totalmente discordo", podendo ser expandida para sete pontos. A Escala de *Likert*, é reconhecida por sua simplicidade e natureza ordinal, não determinando o quão favorável ou desfavorável é uma atitude específica (Gil, 1999, p.146).

Nesta escala, as afirmações são classificadas numericamente, permitindo a quantificação das atitudes dos respondentes. A soma dos valores atribuídos a cada item indica a inclinação do indivíduo para uma atitude favorável ou desfavorável (Michel, 2005, p. 41). A análise destas respostas, segundo o método *Likert*, auxilia na validação do instrumento utilizado (Richardson, 1999).

Segundo Gil (1999), a construção da Escala de *Likert* envolve cinco etapas: 1) Elaboração de declarações que expressem opiniões sobre o tema em questão; 2) Aplicação dessas declarações a um grupo de pessoas, que expressarão concordância ou discordância conforme uma escala predeterminada; 3) Avaliação dos itens, onde os mais favoráveis recebem as maiores pontuações e os menos favoráveis, as menores; 4) Cálculo do escore total de cada participante através da soma dos itens; 5) Revisão das respostas para eliminar itens com baixa correlação com o total, assegurando a consistência da escala.

Na próxima seção é descrito o conteúdo das perguntas, como foram estruturadas e a execução do questionário.

4.2.4 Estrutura e organização.

O questionário foi composto de 4 partes: 1 – apresentação do questionário 2 – identificação do avaliador, 3 - sobre a experiência de uso em aplicações RA, 4 – sobre o uso e a UX do HypergeoAR.

Ao total foram 16 perguntas, sendo 5 delas com respostas na escala *Likert*, com 7 opções oferecidas (onde 1 indicava "Muito insatisfeito" e 7 indicava "Totalmente satisfeito"), 3 com resposta sim ou não, 5 optativas e outras 3 dissertativas.

A primeira parte do questionário tratou de apresentar a pesquisa e seu objetivo.

Foi enfatizado que a participação do avaliador era livre e não era obrigatória. Também foi informado ao avaliador que a qualquer momento ele poderia se retirar da pesquisa sem nenhum prejuízo bastando encerrar o questionário.

Em adição, foi deixado claro que essas respostas eram totalmente confidenciais e sigilosas e em hipótese alguma serão entregues a pessoas que não sejam vinculadas diretamente a essa pesquisa. O avaliador só conseguia iniciar o questionário após concordar em participar voluntariamente dela.

A segunda parte do questionário tratou da identificação do avaliador, bem como o nome, e-mail e idade. A idade aqui foi perguntada para se verificar a correlação da idade e grau de dificuldade na utilização do HypergeoAR.

A terceira parte abordou se o avaliador já tinha experiência na utilização de algum tipo de aplicativo de RA, com a possibilidade de o usuário responder sim ou não. Se a resposta for sim, é feita próxima pergunta relacionada ao tipo do aplicativo de RA, se em algum jogo, alguma aplicação na engenharia ou arquitetura, algum aplicativo de educação ou a opção outros, no qual o avaliador poderia descrever a aplicação em que teve a experiência. Isso foi importante para se avaliar se há alguma relação de pessoas com nenhuma ou alguma experiência em RA e se o tipo de aplicação de RA experimentada antecipadamente influencia no uso do HypergeoAR.

As próximas perguntas foram diretamente relacionadas a Usabilidade e a UX do avaliador com a aplicação HypergeoAR. O avaliador foi orientado para responder em uma escala de 1 a 7, onde 1 é "Muito insatisfeito" e 7 é "Muito satisfeito", responda (escala *Likert*).

A elaboração das perguntas levou em conta o agrupamento das heurísticas citadas na seção 4.2.2. Foram divididas pelos 5 componentes de Nielsen e em cada componente, as heurísticas relacionadas, são elas:

1 - Aprendizagem:

- Facilidade de Aprendizado: No HypergeoAR a navegação é intuitiva, permitindo que os usuários realizem facilmente a visualização de objetos 3D?

- Assistência em Tempo Real: O HypergeoAR fornece feedback imediato (objeto responde em tempo real) e visível quando os usuários interagem com objetos 3D?

Eficiência:

- Eficiência de Uso: O HypergeoAR permite os usuários realizem tarefas de visualização de objetos geométricos 3D de maneira rápida e com poucos passos?

Memória:

- Reconhecimento em Vez de Lembrança: O aplicativo fornece orientações claras para ajudar os usuários a entenderem como interagir com objetos geométricos 3D, minimizando a necessidade de lembrar como usar o aplicativo?

Esta pergunta não foi realizada, pois não foi desenvolvida nenhuma orientação nesta versão do aplicativo.

Erros:

- Prevenção de Erros: O HypergeoAR permite que os usuários cometam alguma ação indesejada ou algum erro na interação com os objetos geométricos 3D?

- Recuperação de Erros: O aplicativo oferece uma maneira fácil e eficaz de corrigir erros ou desfazer ações durante a visualização de objetos geométricos 3D?

A pergunta sobre recuperação de erros não foi realizada, pois não foi desenvolvida nenhuma funcionalidade neste sentido.

Satisfação:

- Satisfação Geral: Como você classificaria sua satisfação geral com o HypergeoAR para visualização de objetos geométricos 3D?

As perguntas restantes foram relacionadas a fim de revelar questões de bem-estar e sentimentos da UX que os avaliadores tiveram após a experiência com o HypergeoAR. São elas:

- Você acredita que o HypergeoAR pode melhorar a sua produtividade na criação das épuras?

-Você acredita que seria interessante ter o HypergeoAR para visualizar os objetos nas aulas em vez de utilizar os blocos de madeira?

Essa pergunta foi optativa e o avaliador teve a opção de responder: pouco interessante, interessante usar como complemento aos blocos de madeira e, interessante usar para substituir os blocos de madeira.

- Qual sentimento teve ao utilizar o HypergeoAR?

Essa pergunta foi optativa com a possibilidade de o avaliador escolher entre: Felicidade, Excitação, Satisfação, Diversão, Frustração e, outros. Caso o avaliador tenha escolhido a opção outros, o usuário pode descrever o seu sentimento.

- Você recomendaria o uso do HypergeoAR?

Essa pergunta teve apenas duas possibilidades de resposta, sim e não.

Por fim, a última pergunta era dissertativa e livre para o avaliador deixar um comentário.

- Deixe um comentário para melhorarmos o aplicativo! OBRIGADO!

4.2.5 Aplicação do questionário

A aplicação do formulário junto aos alunos do curso de Design da FAAC, da Unesp Bauru, foi realizada no dia 10/10/2023 por indicação da Prof. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, como parte de uma atividade prática em sua aula de representação gráfica.

Foi entregue um livreto (ANEXO A) para cada aluno contendo instruções de como realizar o download das duas versões do aplicativo e com os marcadores do tipo QR Codes para serem visualizadas as peças 3D na atividade.

Primeiramente o aluno instalou a versão do aplicativo sem botões virtuais e realizou a visualização dos objetos correspondentes a cada marcador. Posteriormente o aluno foi orientado para instalar a versão do aplicativo com os botões virtuais e realizar os mesmos procedimentos de visualização dos objetos. Somente após o término da atividade os alunos foram orientados a responder o questionário contendo 16 perguntas. As respostas se deram por meio de questionário *Google Forms*, cujo link estava disponível no mesmo livreto.

Ao acessar o link do formulário, o aluno faz a leitura e dá o aceite no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e, somente se aceito o termo, o *Google Forms* libera automática e sequencialmente as perguntas, cujas respostas serão analisadas no capítulo a seguir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA AVALIAÇÃO

O processo de verificação começou assim que as informações brutas foram recebidas. Não foi preciso descartá-las, pois estavam claras, completas e apropriadas. Depois de codificar, transferir e verificar as informações, iniciou-se a análise delas (Laville; Dione, 1999).

Nesta pesquisa, as afirmativas, que exemplificam perguntas fechadas, facilitaram a comparação das respostas dos participantes e sua inclusão no banco de dados. Por outro lado, as perguntas abertas, devido à sua natureza subjetiva, impactaram de certa forma a análise estatística (Novelli, 2006). Mesmo com esforços para quantificar tais respostas, essa mensuração representou um desafio.

Os métodos estatísticos aplicados produziram explicações que, embora não possam ser tomadas como verdades absolutas, possuem alta probabilidade de serem corretas. Tais explicações darão suporte às conclusões, pois foram derivadas de experimentos e observações (Gil, 1999).

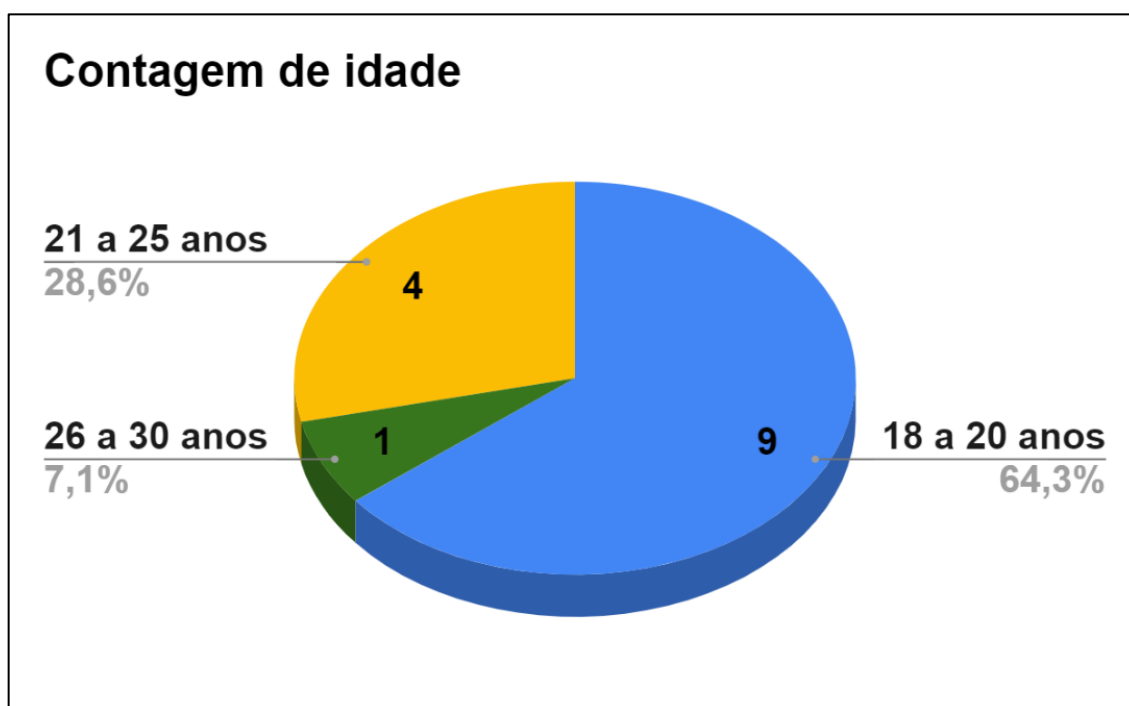
5.1 AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

O questionário foi preenchido por 14 alunos do curso de Design da FAAC UNESP, câmpus de Bauru, como atividade prática na aula de Representações

Gráficas da Prof^a Dr^a Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, orientadora deste trabalho.

Em relação a pergunta sobre a idade: 9 (64,3%) responderam que possuem 18 a 20 anos, 4 (28,6%) responderam que possuem de 21 a 25 anos e 1 (7,1%) respondeu que possui de 26 a 30 anos conforme pode-se observar na Figura 5.1.1.

Figura 5.1.1 – Respostas sobre a idade dos avaliadores.

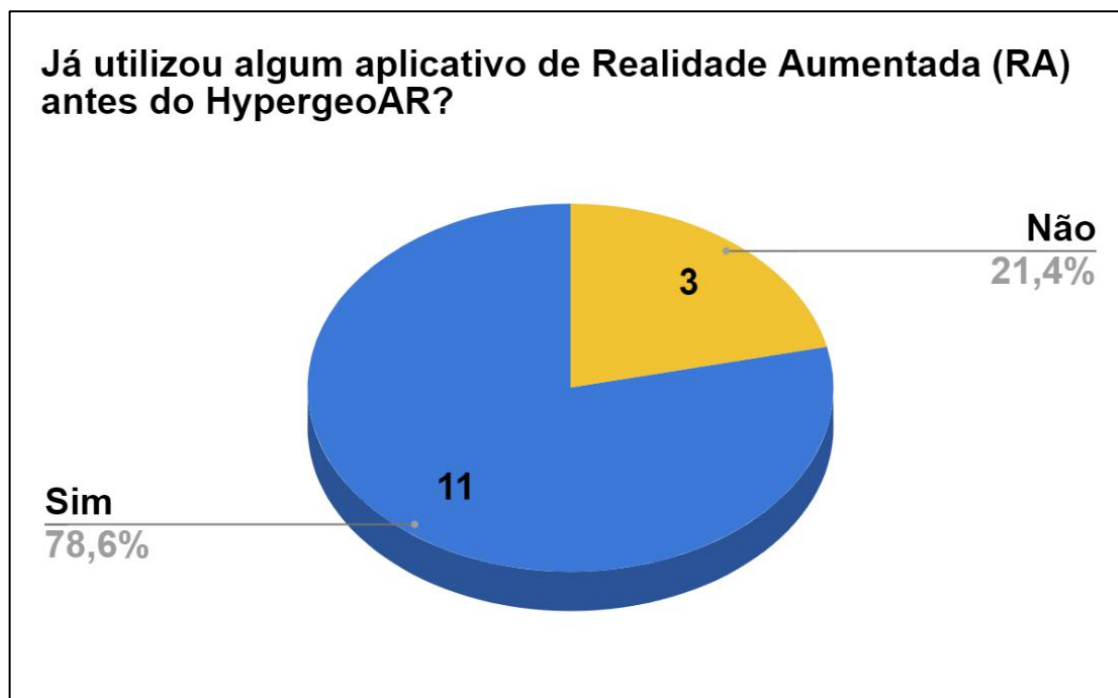


Fonte: Próprio autor.

Além da identificação, na primeira parte do questionário, em outra questão foi perguntado se o avaliador já utilizou algum aplicativo de RA antes do HypergeoAR: 11 (78,6%) responderam que sim e 3 (21,4%) responderam que não (Figura 5.1.2).

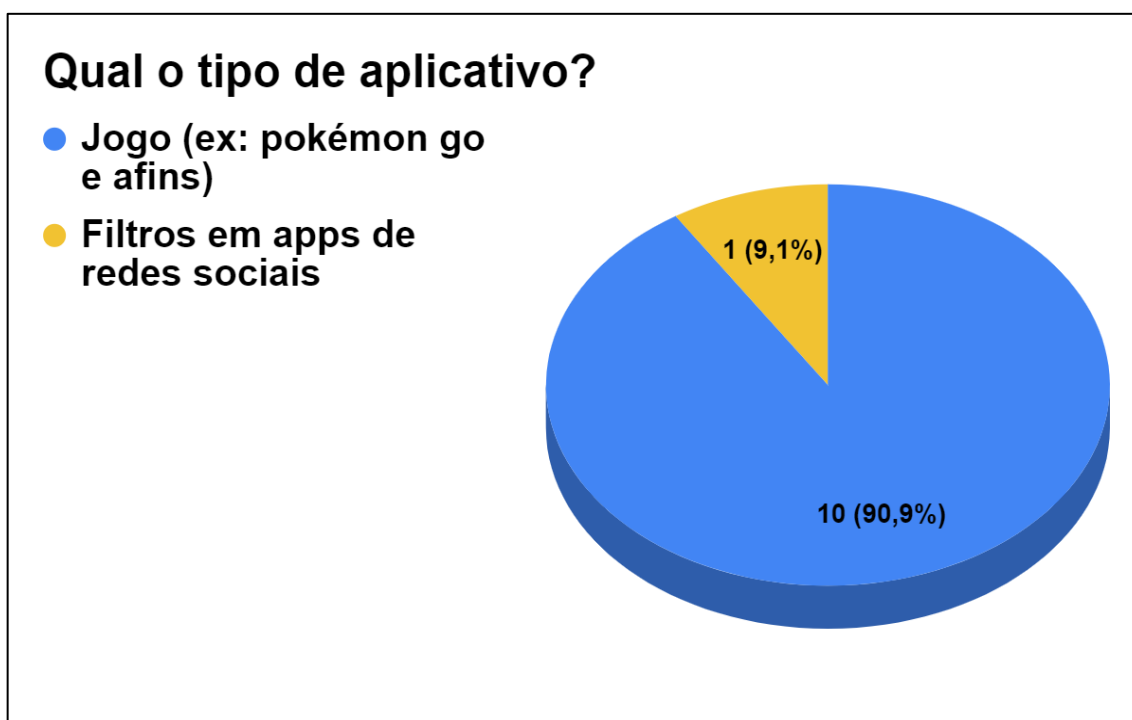
Ainda nesta primeira parte do questionário, para os que responderam que sim, já utilizaram algum aplicativo de RA antes do HypergeoAR, foi perguntado qual o tipo de aplicativo que tinham utilizado: dos 11 avaliadores que já tiveram experiência com aplicativos de RA, 10 (90,9%) foram por aplicativos de jogos e 1 (9,1%) foi por filtros em aplicativos de redes sociais (Figura 5.1.3).

Figura 5.1.2 - Já utilizou algum aplicativo de Realidade Aumentada (RA) antes do HypergeoAR?



Fonte: Próprio autor.

Figura 5.1.3 - Qual o tipo de aplicativo?



Fonte: Próprio autor.

As respostas acima evidenciam que o *Pokémon GO*⁴⁷, como um dos primeiros jogos de RA a alcançar sucesso global massivo, tem um papel significativo na

introdução dessa tecnologia a um público amplo, especialmente aos jovens. Ao tornar a RA acessível e atraente, o Pokémon GO ajudou a desmistificar a tecnologia para os jovens, mostrando que ela pode ser utilizada de forma divertida e social. Da mesma forma, os filtros de RA das redes sociais como o *Instagram* e *Snapchat*, transformaram a maneira como os jovens interagem entre si, tornando-a uma parte integrante de suas comunicações diárias e expressões criativas. Essa experiência faz com que os usuários criem familiaridade, segurança e conforto ao utilizar a RA.

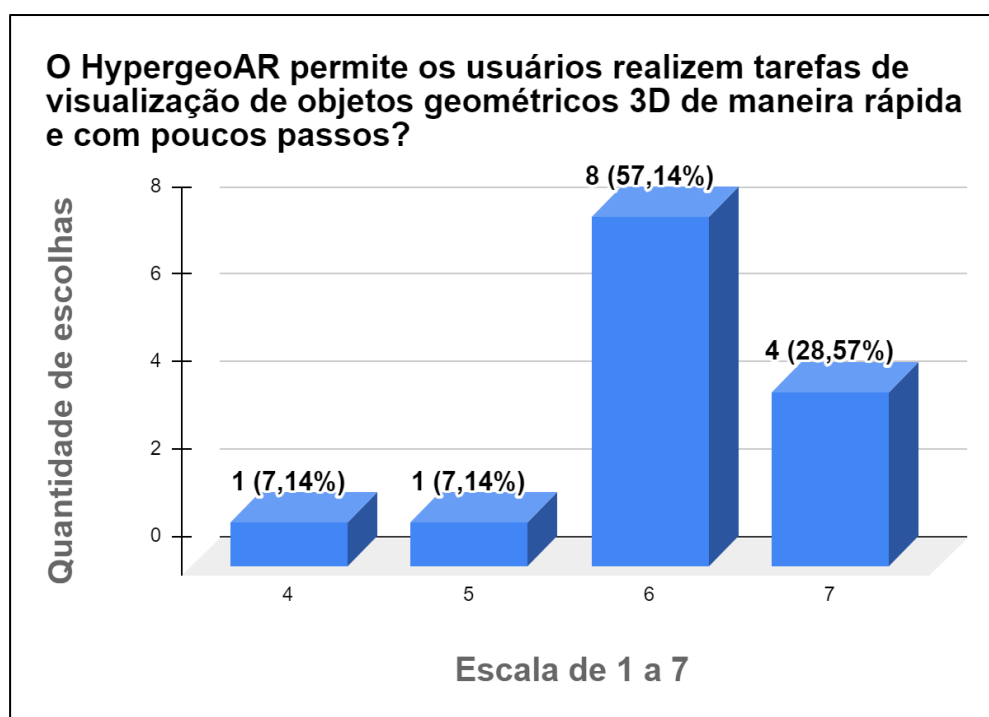
Na próxima etapa do questionário os avaliadores responderam sobre qual das duas versões do HypergeoAR disponibilizadas eles acharam mais fácil de utilizar para a atividade de visualização dos objetos em estudo, se a versão com controle virtuais, sem controles virtuais ou se não acharam fácil de usar: todos os 14 avaliadores foram unânimes em responder que acharam a versão com controles virtuais mais fácil de usar.

Nas questões seguintes foi abordado sobre uso do HypergeoAR em diferentes aspectos, algumas com respostas através da escala Likert, algumas com respostas sim e não e outras de forma optativa.

Em uma escala de 1 a 7, onde 1 é "Muito insatisfeito" e 7 é "Muito satisfeito", foi perguntado se o HypergeoAR permite os usuários realizem tarefas de visualização de objetos geométricos 3D de maneira rápida e com poucos passos: 4 (28,57%) avaliadores deram nota 7, 8 (57,1%) deram nota 6, 1 (7,14%) deu a nota 5 e 1 (7,14%) deu a nota 4 (Figura 5.1.4). A análise das respostas desta questão revela que a maioria dos avaliadores acham que o HypergeoAR possibilita a visualização de objetos 3D de maneira rápida e com poucos passos.

Na sequência, em uma escala de 1 a 7, onde 1 é "Muito insatisfeito" e 7 é "Muito satisfeito", foi perguntado se no aplicativo HypergeoAR a navegação é intuitiva, permitindo que os usuários realizem facilmente a visualização de objetos 3D, as respostas foram: 11 (78,57%) deram nota 7, 6 (14,29%) deram nota 6 e 1 (7,14%) deu nota 5 (Figura 5.1.5). A análise das respostas revelou que a maioria dos alunos acharam a navegação intuitiva e tiveram facilidade de utilizar o HypergeoAR para visualizar os objetos 3D.

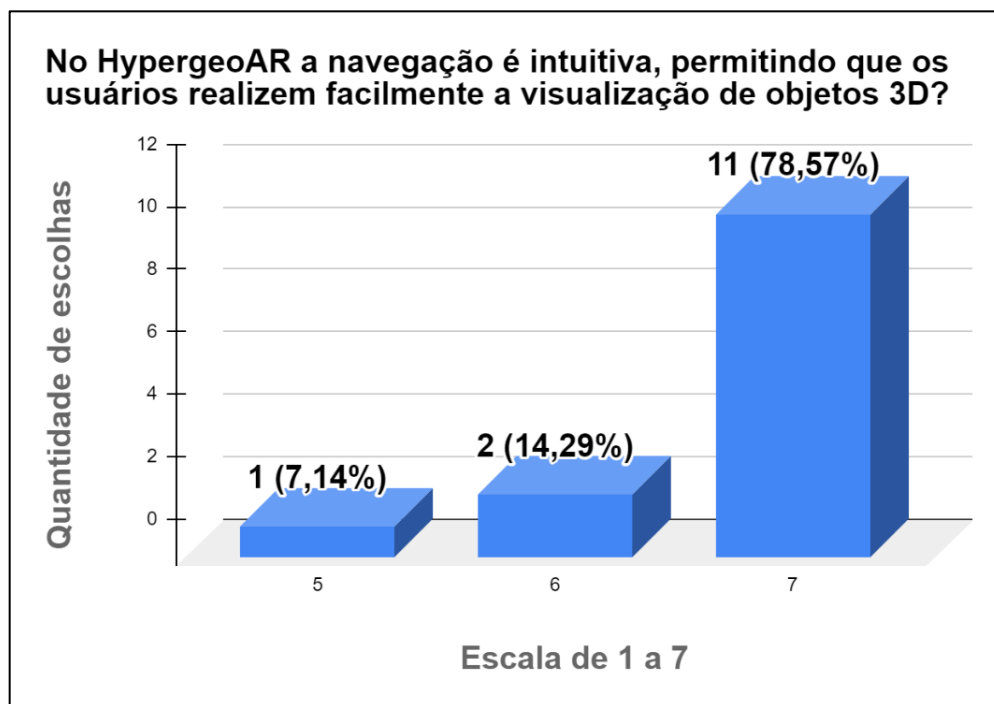
Figura 5.1.4 - O HypergeoAR permite os usuários realizem tarefas de visualização de objetos geométricos 3D de maneira rápida e com poucos passos?



Fonte: Próprio autor.

Figura 5.1.5 - No HypergeoAR a navegação é intuitiva, permitindo que os usuários realizem

facilmente a visualização de objetos 3D?



Fonte: Próprio autor.

A próxima pergunta foi se o HypergeoAR permite que os usuários cometam alguma ação indesejada ou algum erro na interação com os objetos 3D, eles tinham opções de escolha entre “sim” e “não” e todas as respostas foram unânimes relatando que não, o aplicativo não permitiu que os usuários cometessem alguma ação indesejada ou algum erro na interação com os objetos visualizados.

Sobre se o HypergeoAR fornece feedback imediato (objeto responde em tempo real) e visível quando os usuários interagem com os objetos 3D, as reações foram: 7 (50%) deram nota 7, 6 (42,9%) deram nota 6 e 1 (7,1%) deu nota 5 (

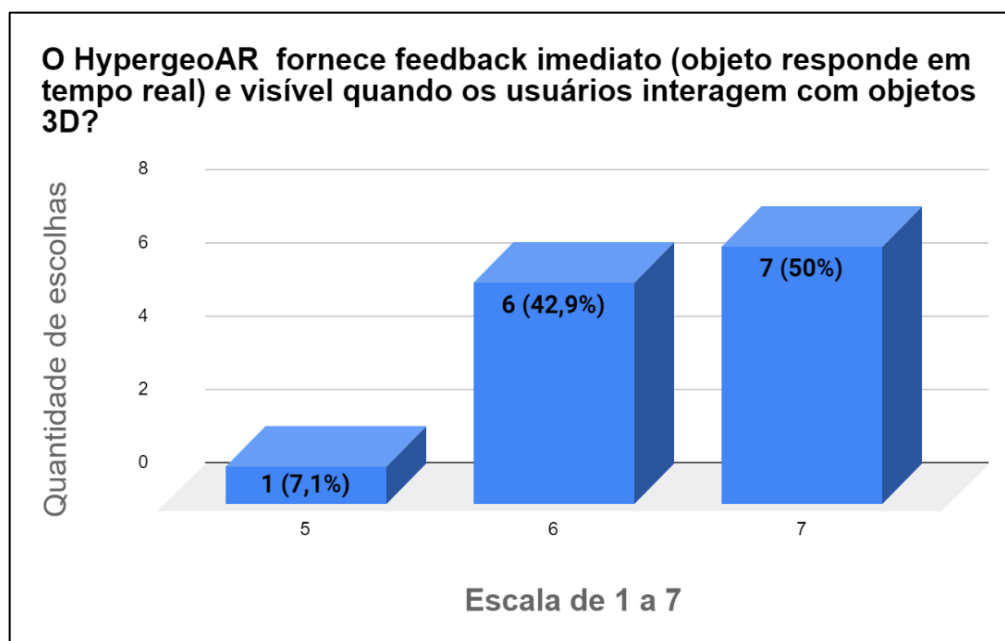
Figura 5.1.6). A análise das respostas desta questão demonstra que a maioria dos alunos concordaram que o HypergeoAR fornece feedback imediato e visível quando ocorre a interação com os objetos 3D.

As próximas perguntas foram realizadas com o intuito de se verificar questões de bem-estar e sentimentos da UX que os avaliadores tiveram após a experiência com o HypergeoAR. Em uma escala de 1 a 7, onde 1 é "Muito pouco" e 7 é "Sim, bastante", foi perguntado se o aluno acredita que o HypergeoAR pode melhorar a sua

produtividade na criação das épuras, responderam: 7 (50%) deram nota 7, 2 (14,3%) deram nota 6, 2 (14,3%) deram nota 5, 2 (14,3%) deram nota 3 e 1 (7,1%) deu nota 1 (

Figura 5.1.7). Apesar das divergências das respostas, as respostas ficaram entre 5 e 7, o que comprova que a maioria dos alunos concordaram que o HypergeoAR pode melhorar a sua produtividade na criação das épuras.

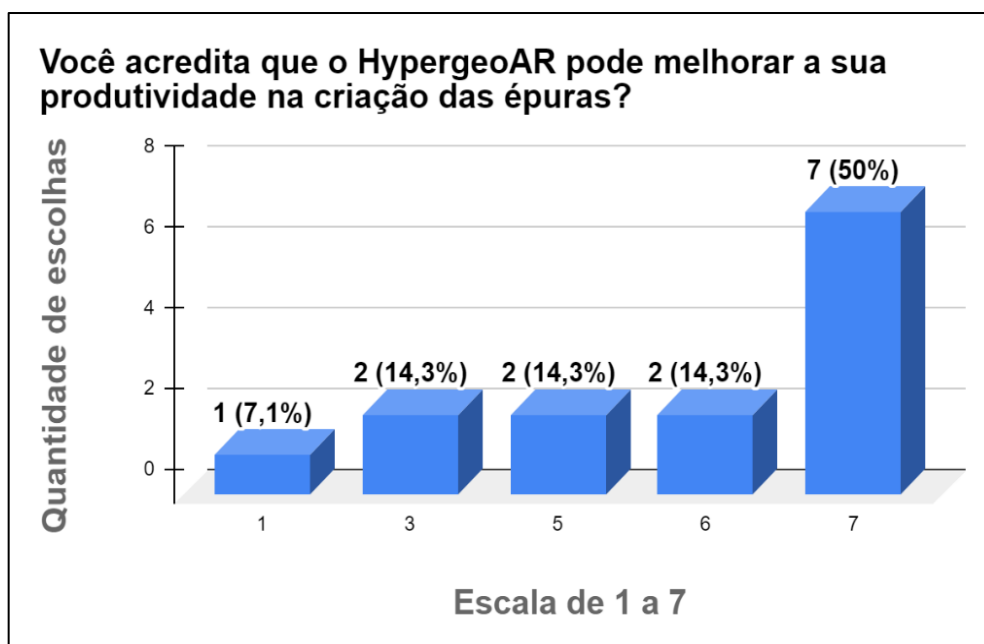
Figura 5.1.6 - O HypergeoAR fornece feedback imediato (objeto responde em tempo real) e visível quando os usuários interagem com objetos 3D?



Fonte: Próprio autor.

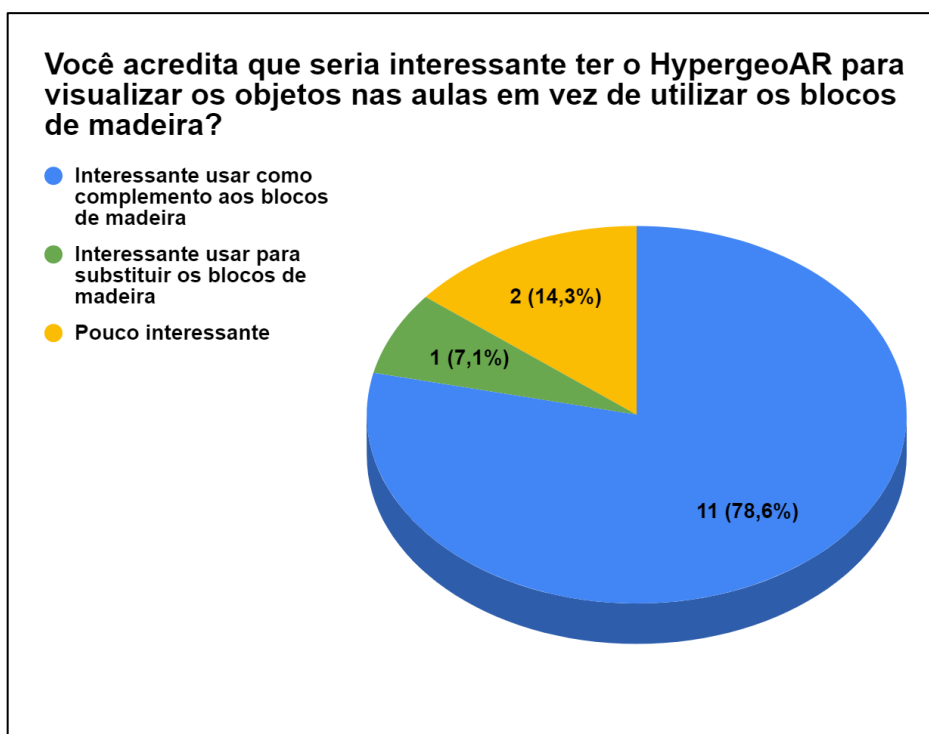
Na sequência, foi perguntado se o aluno acredita que seria interessante ter o HypergeoAR para visualizar os objetos nas aulas em vez de utilizar os blocos de madeira, dando três opções de escolha, “Pouco interessante”, “Interessante usar como complemento aos blocos de madeira” e “Interessante usar para substituir os blocos de madeira”. Foram dadas as seguintes respostas: 11 (78,8%) responderam “Interessante usar como complemento aos blocos de madeira”, 1 (7,1%) respondeu (Interessante usar para substituir os blocos de madeira” e 2 (14,3%) responderam que acharam “Pouco interessante” (Figura 5.1.8).

Figura 5.1.7 - Você acredita que o HypergeoAR pode melhorar a sua produtividade na criação das épuras?



Fonte: Próprio autor.

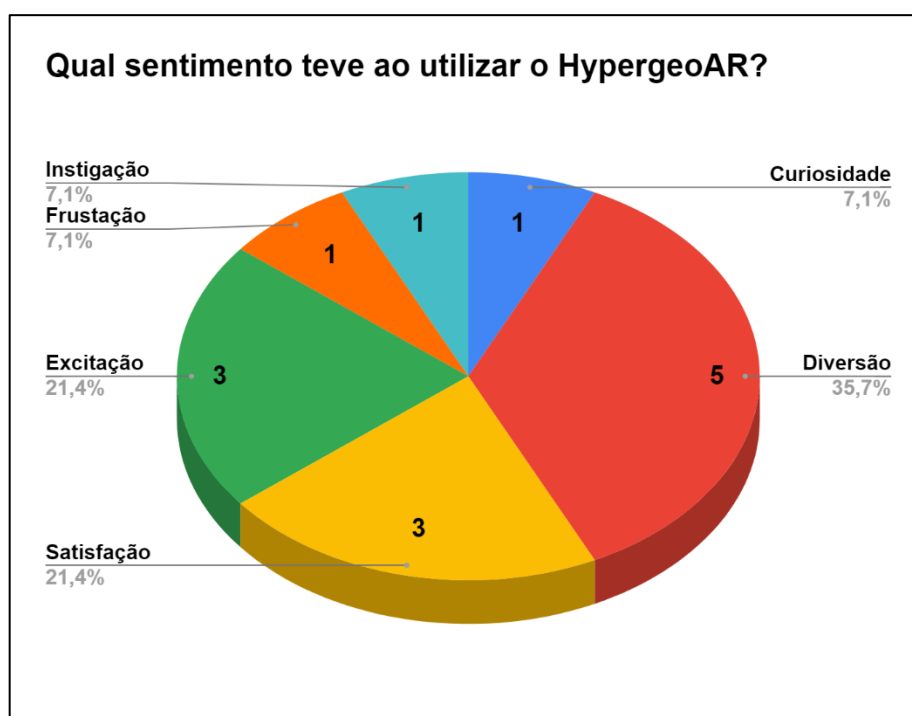
Figura 5.1.8 - Você acredita que seria interessante ter o HypergeoAR para visualizar os objetos nas aulas em vez de utilizar os blocos de madeira?



Fonte: Próprio autor.

Sobre qual sentimento o aluno teve ao utilizar o HypergeoAR, foram dadas as seguintes possibilidades de respostas, “Diversão”, “Satisfação”, “Excitação”, “Curiosidade”, “Frustração” e “Instigação”. As respostas foram diversas: 5 (35,7%) responderam “Diversão”, 3 (21,4%) responderam “Satisfação”, 3 (21,4%) responderam “Excitação”, 1 (7,1%) respondeu “Frustração”, 1 (7,1%) respondeu “Instigação” e 1 (7,1%) respondeu “Curiosidade” (Figura 5.1.9). Se pressuposto que “Satisfação”, “Diversão”, “Excitação” e “Curiosidade” são sentimentos positivos, então estes sentimentos foram os que mais tiveram concordância entre as respostas (85,6%).

Figura 5.1.9 - Qual sentimento teve ao utilizar o HypergeoAR?



Fonte: Próprio autor.

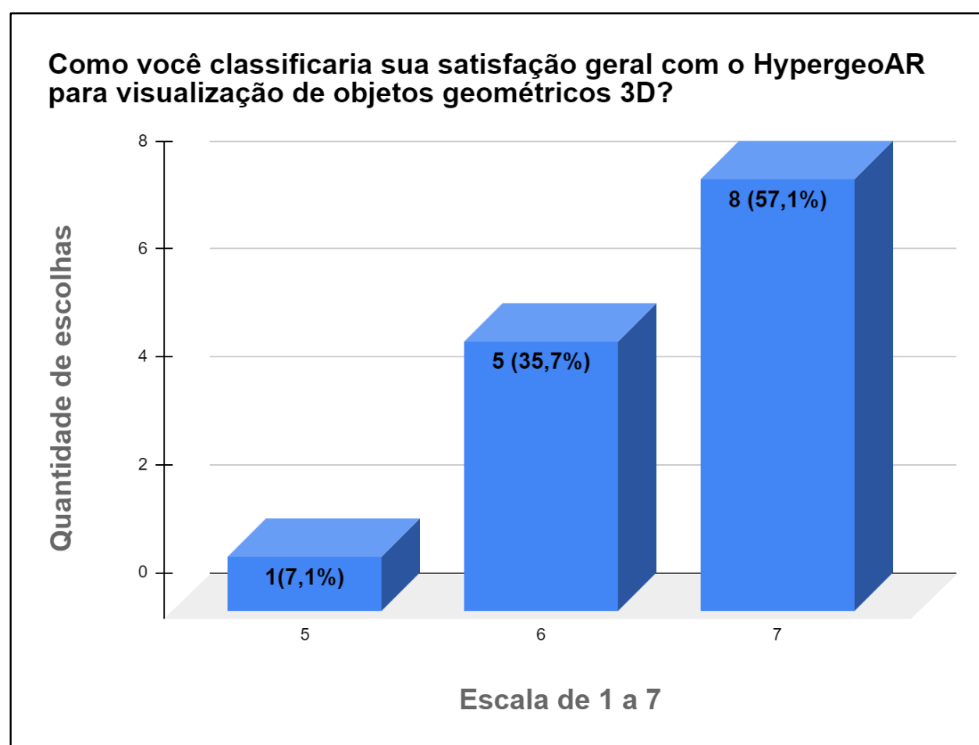
A respeito de como os alunos classificariam sua satisfação geral com o HypergeoAR para visualização de objetos geométricos 3D, em uma escala de 1 a 7, onde 1 é "Muito insatisfeito" e 7 é "Muito satisfeito", as respostas mostram os seguintes resultados: 8 (57,1%) deram nota 7, 5 (35,7%) deram nota 6 e 1 (7,1%) deu nota 5 (Figura 5.1.10). Tais respostas coletadas evidenciam a grande satisfação geral que os alunos tiveram ao utilizar o HypergeoAR.

A última questão da avaliação do HypergeoAR foi se o avaliador recomendaria

o uso do HypergeoAR, responderam: 13 (92,9%) disseram que sim e 1 (7,1%) disse que não. Embora um avaliador tenha dito que não, a maioria disse que sim (Figura 5.1.11).

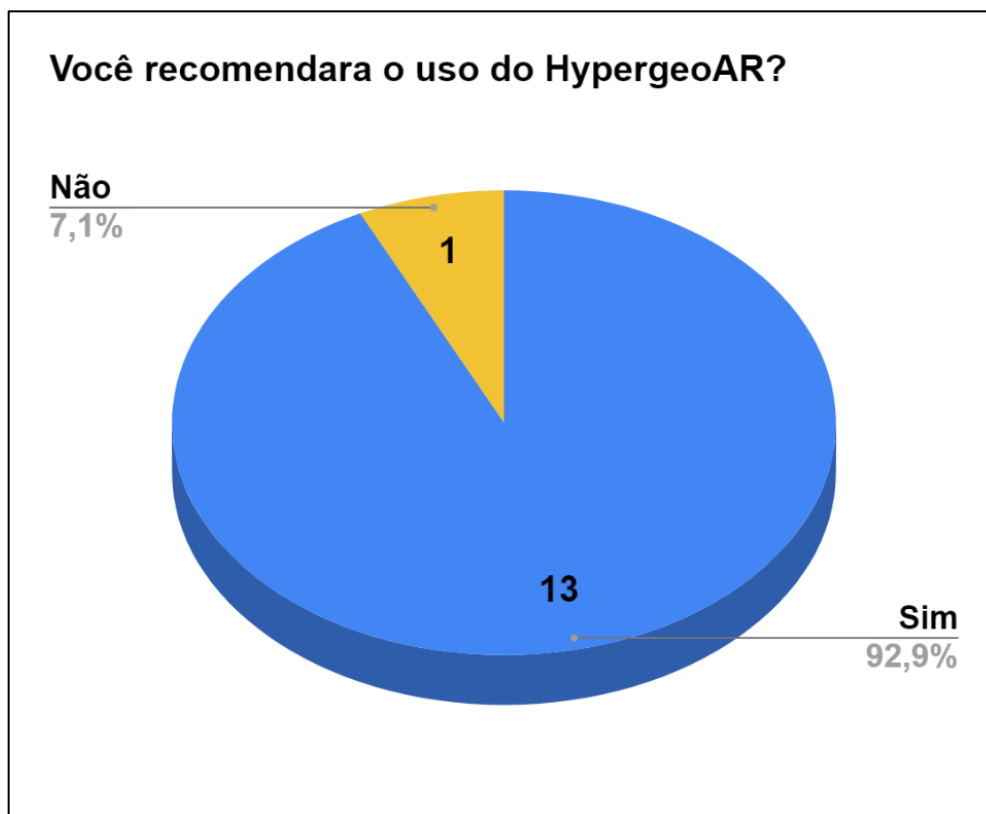
Após essa última questão, foi deixado um campo para comentários e melhorias que os avaliadores tenham observado. Apenas quatro avaliadores deixaram seus comentários, um deles foi o que respondeu na questão anterior que não recomendaria o HypergeoAR relatando que o aplicativo necessitava de medições dos objetos, uma grade e um botão de “reset” para voltar o objeto na sua posição original. Embora foi falado que o aplicativo era um protótipo, pode ser que por esses motivos esse avaliador não recomendaria o aplicativo.

Figura 5.1.10 - Como você classificaria sua satisfação geral com o HypergeoAR?



Fonte: Próprio autor.

Figura 5.1.11 - Você recomendaria o uso do HypergeoAR?



Fonte: Próprio autor.

Os outros comentários foram positivos informando a satisfação na utilização do aplicativo, contudo recomendaram incluir um botão de “congelar” a imagem do objeto. Na atividade de representação gráfica, o aluno tem que visualizar a peça e desenhar as épuras solicitadas no papel. Então o aluno não estará com as duas mãos livre a todo momento. Assim, na atividade, o aluno poderia manipular o objeto até a visualização desejada, “congelar” a imagem, colocar o celular na mesa e desenhar as épuras, sem ter que pegar o celular novamente, ler o marcador, manipular o objeto para obter aquela mesma visualização anterior.

Outra sugestão foi sobre o botão de rotação, alguns objetos não rotacionavam exatamente no seu eixo, e isso foi um desconforto a um dos avaliadores. Por fim, foi sugerido a possibilidade de mudança da cor do objeto. Pessoas com algum tipo de alteração na visão pode querer alterar a cor para conseguir enxergar melhores resultados. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (Lavieri, 2021), existem cerca de 8 milhões de pessoas no Brasil incapazes de distinguir as cores

corretamente, sendo elas, portadores de daltonismo.

Na próxima seção, a avaliação será analisada sobre o olhar dos 5 componentes das heurísticas de Nielsen definidas.

5.2 DIAGNÓSTICO DOS 5 CONJUNTOS DE COMPONENTES DE USABILIDADE DAS HEURÍSTICAS DE NIELSEN

Para a análise dos 5 conjuntos de componentes, foram levadas em consideração as informações visuais que o aplicativo ofereceu ao usuário em um primeiro contato com uma atividade objetiva de visualização de peças 3D, a fim de avaliar a UX do HypergeoAR e a sua potencialidade no uso como apoio em atividades de representações gráficas em DT.

Em relação a “Aprendizagem”: A preferência de 100% dos avaliadores pela versão do aplicativo com controles virtuais indica que essa interface facilita significativamente o primeiro contato dos usuários com a aplicação, tornando o processo de aprendizagem mais intuitivo e menos intimidador.

Eficiência: alta pontuação na questão sobre a capacidade do HypergeoAR em permitir a visualização de objetos 3D de maneira rápida e com poucos passos sugere que, uma vez superada a curva de aprendizado, os usuários são capazes de realizar tarefas de forma eficiente, o que é crucial para manter o engajamento e a produtividade.

Facilidade de Memorização: O fato de não terem sido relatados erros por parte dos usuários ao interagir com os objetos 3D pode indicar que as funcionalidades do aplicativo são fáceis de lembrar, mesmo após um período sem uso, o que é essencial para uma experiência de usuário positiva a longo prazo.

Erros: A ausência de ações indesejadas ou erros na interação com os objetos 3D reflete uma interface bem projetada que previne erros comuns, permitindo uma experiência de uso mais suave e menos frustrante para os usuários.

Satisfação: A satisfação geral com o HypergeoAR, evidenciada tanto pela avaliação positiva da maioria dos alunos quanto pela disposição em recomendar o

aplicativo, destaca o sucesso da aplicação em oferecer uma experiência agradável e engajadora, crucial para a aceitação e adoção contínua da tecnologia.

Esses resultados apontam para uma implementação bem-sucedida das heurísticas de Nielsen no design do HypergeoAR, resultando em uma experiência de usuário positiva nos aspectos de aprendizagem, eficiência, memorização, prevenção de erros e satisfação.

Esses resultados, ao serem mapeados com as Heurísticas de Nielsen adaptadas para RA, destacam a importância de interfaces intuitivas, *feedback* claro, consistência, prevenção de erros e um design minimalista e estético para o bem-estar e satisfação do usuário em aplicações de RA. A aplicação dessas heurísticas e componentes no design do HypergeoAR contribuiu para uma experiência positiva, refletindo a eficácia dessa abordagem metodológica na avaliação e otimização da usabilidade em aplicativos de RA.

5.3 SUGESTÃO DE MELHORIAS PARA A PRÓXIMA VERSÃO

Diante dos comentários e observações de melhorias apresentadas pelos respondentes na última questão do questionário apresentado na Seção 5.1, se faz necessário elencá-los e sugerir uma nova versão do aplicativo que será discutido a seguir.

Em relação a “Medições dos Objetos”: Um usuário mencionou a necessidade de incluir medições dos objetos no aplicativo, o que pode ser especialmente útil em contextos educacionais onde a precisão e a compreensão das dimensões dos objetos são cruciais. Contudo, se um objeto que está sendo estudado possui muitos lados, tais medições pode “poluir” a visualização dos detalhes do objeto. Neste caso, um botão de ocultar/apresentar dados pode ser útil.

Sobre a “Grade de Referência”: Foi sugerida a adição de uma grade de referência que pode ajudar na orientação espacial dos objetos 3D e na compreensão de sua escala e posição relativa no espaço.

A sugestão do botão de “Reset”: Foi recomendada para permitir aos usuários

que restaurarem a posição original dos objetos 3D, facilitando a retomada e a reavaliação de visualizações específicas sem a necessidade de reiniciar o aplicativo ou realizar ajustes manuais complexos.

Em relação ao “Congelamento de Imagem”: Alguns usuários propuseram um botão para "congelar" a imagem do objeto 3D, o que seria útil em atividades que requerem uma observação prolongada ou a transcrição da visualização para outro meio, como o desenho em papel.

Melhoria na Rotação de Objetos: Foi apontado que alguns objetos não rotacionavam exatamente em torno de seu eixo, o que poderia causar desconforto ou confusão. Refinar o mecanismo de rotação para garantir movimentos mais precisos e intuitivos é uma melhoria potencial.

Mudança de Cor dos Objetos: A possibilidade de alterar a cor dos objetos foi sugerida para acomodar usuários com necessidades visuais específicas, como aqueles com daltonismo, melhorando a acessibilidade e a personalização da experiência.

Essas sugestões indicam áreas de oportunidade para tornar o HypergeoAR ainda mais útil, acessível e agradável para os usuários, melhorando aspectos como funcionalidade, interatividade e acessibilidade.

Além das observações deixadas pelos respondentes são observadas outras melhorias. Em relação a possibilidade de interação, sugere-se a implementação de outros gestos como a possibilidade de rotacionar o objeto simplesmente com o movimento de um dedo na tela do dispositivo sobre o objeto 3D. Dessa forma, o usuário consegue rotacionar em todos os eixos com um deslize do dedo sobre a tela e não precisa clicar nos botões virtuais de rotação.

Outra possibilidade é desenvolver a ferramenta utilizando outro SDK como o Vuforia. Verificar as diferenças de bibliotecas e outras possibilidades de detecção e interação com o usuário.

Como uma última melhoria observada até o momento é a possibilidade de se

desenvolver para outras sistemas operacionais de dispositivos móveis, como iOS. Isso aumentaria as abrangências e maximizaria o uso.

6 CONCLUSÕES

Desde sua concepção, o aplicativo HypergeoAR evoluiu através de diversas etapas, com o objetivo principal de servir como um recurso de suporte para os alunos durante as atividades práticas de representações gráficas nos cursos de Design da UNESP em Bauru.

Os estudos abordados nesta tese revelam que a RA na educação tem avançado significativamente nos últimos anos (Bacca et al., 2019), sobretudo em práticas educacionais que integram dispositivos móveis (Chatzopoulos et al., 2017). Esses dispositivos têm se mostrado particularmente valiosos, trazendo benefícios tanto para educadores quanto para alunos (Ozdamli e Uzunboylu, 2015; Mohammadi, 2015).

Em um cenário ampliado pela pandemia de Covid-19 em 2020, que impôs desafios globais e resultou em perdas humanas profundas, a área de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) se destacou. O uso de aplicativos de celular na educação, por exemplo, tornou-se essencial para manter a continuidade da aprendizagem e oferecer suporte a alunos e professores, ressaltando a importância de soluções tecnológicas adaptáveis em períodos de crise. Assim, as iniciativas de RA para dispositivos móveis continuam a se expandir no ambiente educacional, permitindo que os alunos acessem recursos de aprendizado de qualquer lugar e a qualquer momento (Hanafi et al., 2017), uma necessidade que se tornou ainda mais evidente durante a pandemia.

Dentro deste contexto, surge a necessidade de uma aplicação de RA que possa apoiar os alunos nestas disciplinas em que o professor não consegue demonstrar presencialmente os seus materiais, mas poderia apresentá-los virtualmente. Dessa forma, o HypergeoAR se destaca como uma ferramenta de apoio, e que deve prosseguir em ascensão, conforme demonstrado nesta pesquisa.

Para o desenvolvimento do HypergeoAR se faz necessário destacar a dificuldade de se desenvolver um aplicativo essas tecnologias utilizadas, como a Unity e suas incompatibilidades de versões e as bibliotecas envolvidas. Com o tempo muitas

bibliotecas vão ficando obsoletas e caem em desuso.

Em relação a Experiência do Usuário (UX) a análise realizada evidenciou a eficácia do HypergeoAR, destacando a aplicação de heurísticas adaptadas de Nielsen em cinco componentes distintos de critérios de usabilidade. Concentrando-se na UX do HypergeoAR, o processo de validação adotou abordagens modernas, levando ao desenvolvimento de um questionário contendo 16 perguntas, elaboradas para abranger os cinco componentes de usabilidade e as heurísticas adaptadas. Ao aplicar a escala Likert, as heurísticas foram testadas junto a um público exigente, composto por alunos universitários do curso de Design. Esses avaliadores destacaram os aspectos positivos e apontaram possíveis aprimoramentos do HypergeoAR, oferecendo ao desenvolvedor um panorama preciso do escopo das modificações sugeridas e da capacidade de aceitação do aplicativo em larga escala.

A aceitação da RA na educação é impulsionada por vários fatores, entre eles a alta disponibilidade de dispositivos móveis, como observado nos experimentos da seção 4.1.4. Isso se estende até aos aparelhos de menor custo, que estão equipados com tecnologias suficientes para sustentar aplicações de RA (Ibáñez e Delgado-Kloos, 2018). Esses dispositivos enriquecem os recursos educacionais com elementos multimídia, o que, aliado à precisão da representação e ao controle direto pelo usuário, proporcionam uma experiência única de aprendizagem em ambientes virtuais 3D (Makransky e alu, 2019).

Essas características da RA promovem não apenas a imersão sensorial, mas também facilitam a navegação e manipulação do conteúdo, gerando emoções positivas durante o processo de aprendizagem e tornando os resultados educacionais mais eficazes, segundo Ibáñez e Delgado-Kloos (2018). A avaliação realizada com os alunos comprovou essas emoções positivas.

Dessa forma, espera-se que o HypergeoAR possa ser utilizado em outras soluções de visualização de objetos tridimensionais para o ensino de DT. Por ter o código aberto, também é esperado que outros desenvolvedores possam contribuir com a evolução de novas versões dessa ferramenta de apoio.

Com o objetivo principal desta pesquisa atingido - investigar a RA enquanto tecnologia emergente inovadora, com o propósito de criar um aplicativo que possa auxiliar alunos em atividades DT e validar sua usabilidade como um método de UX - este projeto tem potencial para contribuir significativamente com o ODS número 4 e 9 da Agenda 2030 da ONU, a depender de sua continuação.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁNEZ, G.; VELASCO, A. D. **Construção de um teste de visualização a partir da psicologia cognitiva**. Aval. Psicol., Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 39-47, jun. 2002. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04712002000100005&lng=pt&nrm=isso. Acesso em: 9 jan. 2023.

AGNI, E. **Avaliação heurística na análise de interfaces**. Postado em: 5 out. 2015. Disponível em: < <https://www.mergo.com.br/blog/usabilidade/avaliacao-heuristica-na-analise-de-interfaces/>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

AKÇAYIR, M.; & AKÇAYIR, G. **Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature**. Educational Research Review, 20, 1–11. 2017.

AL-ANSI A. M.; JABOUB M.; GARAD A.; AL-ANSI A. **Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education**. Social Sciences & Humanities Open, Volume 8, Issue 1. 2023. ISSN 2590-2911.

ANDRADE, L. dos S.; GOULART, S. A. S.; CRUZ, P. C. H. de L. **O uso da realidade aumentada como ferramenta de ensino em expressão gráfica**. In: Anais GRAPHICA 2017 - XII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design. Anais. Araçatuba (SP) UNIP, 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/graphica2017/50796-O-USO-DA-REALIDADE-AUMENTADA-COMO-FERRAMENTA-DE-ENSINO-EM-EXPRESSAO-GRAFICA>>. Acesso em: 09/01/2023 04:11

APTER, M. J. **The Computer Simulation of Behaviour**. London: Hutchinson & Co. p. 83. 1970.

ARIFIN Y.; SASTRIA, T.G.; BARLIAN, E. **User Experience Metric for Augmented Reality Application: A Review**, *Procedia Computer Science*, Volume 135, p. 648-656, 2018. ISSN 1877-0509. DOI: 10.1016/j.procs.2018.08.221

ARTOOLKIT. < <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/index.html>>.

Acesso em 5/01/2023.

AUGMENT. <<http://www.augment.com/how-augmented-reality-works/>>. Acesso em 20/12/2022.

AZUMA, R. ***A Survey of Augmented Reality***, *PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, pp. 355-385, 1997.

BACCA, J., BALDIRIS, S., FABREGAT, R., & GRAF, S. ***Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications***. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 133. 2014.

BARBOSA, S. D. J.; SILVA, B. S. DA; SILVEIRA, M. S.; GASPARINI, I.; DARIN, T.; BARBOSA, G. D. J. ***Interação Humano-Computador e Experiência do usuário***. Autopublicação. (2021) ISBN: 978-65-00-19677-1.

BECK, T. M.; COSTA, A. C. da. ***Aplicativo em Realidade Aumentada para o ensino de Desenho Técnico na Educação Profissional e Tecnológica***. *Revista Vértices*, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 224–240, 2020. DOI: 10.19180/1809-2667.v22n22020p224-240. Disponível em: <https://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/15406>. Acesso em: 9 jan. 2023.

BECKER, A. S.; CUMMINS, M.; DAVIS, A.; FREEMAN, A.; HALL, G. C.; ANANTHANARAYANAN, V. ***NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition***. Austin, Texas. Disponível em: <<http://cdn.nmc.org/media/2017-nmc-horizon-report-he-EN.pdf>>.

BERTOLINE, G. R. ***The implications of cognitive neuroscience research in spatial abilities and graphics instruction***. Proceedings of the International Conference on Engineering Design Graphics. Vienna, 1988.

BOWER, C. A.; LIBEN, L. ***Instructors' Gestural Accuracy Affects Geology Learning in Interaction with Students' Spatial Skills***. *Journal of Intelligence*. October 2023.

BROWN, T. **Design Thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Elsevier, Eds. p.64. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

BUY, K. **50 Years in VR: Tom Furness' Journey from Making More Lethal Pilots to Non-profit Learning**. *Voices of VR Podcast – Episode 245*. Publicado em: 17 nov 2015. Disponível em: <https://www.roadtovr.com/50-years-vr-tom-furness-super-cockpit-virtual-retinal-display-hit-lab-virtual-world-society/>. Acesso em: 28 de maio de 2024.

CARMIGNIANI, J.; FURHT, B. **Augmented Reality: An Overview**. In: FURHT, B. (ed.). *Handbook of Augmented Reality*. New York, NY: Springer New York, 2011. p. 3-46.

CARMIGNIANI, J., FURHT, B., ANISETTI, M. **Augmented reality technologies, systems and applications**. *Multimed Tools*. Appl 51, 341–377. 2011. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>

CARROLL, J. B. **Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies**. *Cambridge University Press*. Cambridge, UK, 1993.

CHANDANA, B. H.; SHAIK, N.; CHITRALINGAPPA, P. **Exploring the Frontiers of User Experience Design: VR, AR, and the Future of Interaction**. *International Conference on Computer Science and Emerging Technologies (CSET)*, Bangalore, India, p. 1-6. 2023. DOI: 10.1109/CSET58993.2023.10346724.

CHATZOPOULOS, D.; BERMEJO, C.; HUANG, Z.; HUI, P. **Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go**, in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 6917-6950, 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2698164.

CHEN B.; DENOYELLES A.; BROWN T.; SEILHAMER R. **The Evolving Landscape of Students' Mobile Learning Practices in Higher Education**. Publicado em: 25 jan. 2023. Disponível em: <https://er.educause.edu/articles/2023/1/the-evolving-landscape-of-students-mobile-learning-practices-in-higher-education#fn16>. Acesso em: 5 fev. 2023.

CHEUNG, K. H.; & TSAI, C. C. **Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research.** *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449–462. 2013.

CHEUNG, W. S.; & HEW, K. F. **A review of research methodologies used in studies on mobile handheld devices in K-12 and higher education settings.** *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(2), p 153–183, 2009.

COUNCIL, N. R. **Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum.** Washington, DC: National Academies Press, 2006.

CRESWELL, J. W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches.** SAGE Publications. 2014.

DESUTTER, D.; STIEFF, M. **Teaching students to think spatially through embodied actions: Design principles for learning environments in science, technology, engineering, and mathematics.** *Cognitive Research: Principles and Implications* 2: 1–20. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0039-y>.

DÜNSER, A.; GRASSET, R.; BILLINGHURST, M. **A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies.** *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. Singapore. (2008).

EASYAR. **EasyAR Planar Image Tracking**, 2023. Disponível em: <https://help.easyar.com/EasyAR%20Sense/latest/Guides/EasyAR-Planar-Image-Tracking.html>. Acesso em: 27 nov. 2023.

FOGG, B.J. 2009. **A behavior model for persuasive design.** In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology (Persuasive '09)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 40, 1–7. DOI: 10.1145/1541948.1541999

FURNESS T. A. ***The super cockpit and its human factors challenges.*** In: *Proceedings of the Human Factors Society 30th Annual Meeting, Human Factors and Ergonomics Society*, pp 48–52. 1986.

GARRETT, J. J. ***The Elements of User Experience: User-centered Design for the Web and Beyond.*** New Riders. 2011.

GIL, A. C. ***Métodos e técnicas de pesquisa social.*** São Paulo: Atlas, 1999.

GRONER, R.; GRONER, M.; & BISCHOF, W. F. ***Methods of heuristics.*** Hillsdale N.J., Lawrence Erlbaum. 1983.

GVR. ***Augmented Reality Market Size & Trends.*** Grand View Research. Disponível em: < <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/augmented-reality-market>>. Acesso em 11 jan. 2023.

HANAFI, H. F.; SAID, C. S.; WAHAB, M. H.; SAMSUDDIN, K. ***Improving Students' Motivation in Learning ICT Course With the Use of A Mobile Augmented Reality Learning Environment*** *Improving Students' Motivation in Learning ICT Course With the Use of A Mobile Augmented Reality Learning Environment*. International Research and Innovation Summit (IRIS2017), 226, p. 1–10, 2017.

HEILIG M. ***Cartaz de divulgação do Sensorama.*** Disponível em: <http://www.telepresence.org/sensorama/index.html>. Acessado em: 29 fev. 2023.

HERPICH, F.; NUNES, F. B.; PETRI, G.; & TAROUCO, L. M. R. ***How Mobile Augmented Reality Is Applied in Education? A Systematic Literature Review.*** *Creative Education*, 10, 1589-1627. 2019. <https://doi.org/10.4236/ce.2019.107115>

HOOSHYAR, D. ***A data-driven procedural-content-generation approach for educational games.*** *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 34, n. 6, p. 731–739. 2018.

HOUNSELL, M. S.; TORI, R.; KIRNER, C. **Capítulo 2 - Realidade Aumentada**. In: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: Editora SBC, 2018. p. 36-76.

HSI, S.; LINN, M. C.; & BELL, J. E. ***The role of Spatial Reasoning in Engineering and Design of Spatial Instruction***. *Journal of Engineering Education*, 84, 151-158. (1997).

IBÁÑEZ, M. B.; DELGADO-KLOOS, C. ***Augmented reality for STEM learning: A systematic review***. *Computers & Education*, v. 123, p 109-123, 2018. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.05.002.

INSLEY, S. ***Obstacles to general purpose augmented reality***. ECE 399H, *Information Security & Cryptography*, Oregon, EUA, 2003.

IPEA. ODS – **Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf. Acesso em: 10 de out de 2022.

ISO. 9241-11:2018, ***Ergonomics of human-system interaction - Part 11: Usability: Definitions and concepts***, vol. 2018. *International Organization for Standardization* (ISO), Geneva, Switzerland, 2018.

ISO. 9241-210:2010, ***“Ergonomics of human–system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems,”*** vol. 2010, ISO, Geneva, Switzerland, 2010.

ISO. 9241-210:2019, ***Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems***. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:en>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

JOYCE, A. **10 Usability Heuristics Applied to Virtual Reality**. Publicado em: 11 jul. 2021. Disponível em: < <https://www.nngroup.com/articles/usability-heuristics-virtual-reality/>>. Acessado em: 10 jan. 2024.

KAUFMAN, S. B. **Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: Can they be accounted for by differences in working memory capacity?** *Intelligence*, v. 35. University of Cambridge, England and Yale University, United States, 2007.

KIRNER, C.; TORI R. **Fundamentos de Realidade Aumentada**. In: Livro do pré-simpósio, VIII *Symposium on Virtual Reality*. Belém, PA. Ed SBC. 2006.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações**. In: Livro do IX *Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC. 2007.

KO, S.M.; CHANG, W.S.; JI, Y.G. **Usability Principles for Augmented Reality Applications in a Smartphone Environment**. *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 29, no. 8, p. 505–515. 2013.

KOUROUTHANASSIS, PE.; Boletsis, C.; Lekakos, G. **Demystifying the design of mobile augmented reality applications**. *Multimed Tools App*. 74:1045–1066, 2015. DOI:10.1007/s11042-013-1710-7

LABRIE, A.; CHENG, J. **Adapting Usability Heuristics to the Context of Mobile Augmented Reality**. In *Adjunct Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '20 Adjunct)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 4 - 6. 2020. DOI: 10.1145/3379350.3416167.

LAUREL, B. **Interface as Mimesis**. In: *User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction*. [S.I.] Norman & Draper's, 1986.

LAVIERI, Fernando. **Uma vida com mais cores**. ISTOÉ, São Paulo, 19 mar. 2021.

Disponível em: <<https://istoe.com.br/uma-vida-com-mais-cores/>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

LAW, E. L.-C.; VAN SCHAİK. P.; ROTO. V. "**Attitudes towards User Experience (UX) Measurement Effie**," *International Journal of Human-Computer Studies*. vol. 72, no. 6, pp. 526–541, 2014.

LING, Haibin. **Augmented Reality in Reality**. *IEEE MultiMedia*, v. 24, n. 3, p. 10-15, 2017.

LINN, M. C.; PETERSON, A. C. **Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis**. *Child Development*. University of California, Berkeley and Weizmann Institute of Science, Israel, 1985.

LOHMAN, D. F. **Spatial Ability: A Review and Reanalysis of the Correlational Literature**. *Aptitude Research Project*, Technical Report, n. 8. Aptitude Research Project; School of Education, Stanford University: Palo Alto, CA. 1979.

LOPES, L. M. D.; VIDOTTO, K. N. S.; POZZEBON, E.; FERENHOF, H. A. **Inovações Educacionais com o uso da Realidade Aumentada: uma Revisão Sistemática**. *Educação em Revista*, [S.L.], v. 35, p. 1-33, 2019.

MACEDO, S. da H. **Uso de técnicas de realidade aumentada no processo de ensino-aprendizagem de eletromagnetismo**. 2011. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2011.

MCGEE, M. G. **Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences**. *Psychological Bulletin*, v. 86, 1979.

MAKRANSKY, G.; PETERSEN, G. B. **Investigating the process of learning with desktop virtual reality: A structural equation modeling approach**. *Computers and Education*, 134, p. 15–30, 2019.

MYERS, G.; BADGETT, T.; SANDLER, C. ***The Art of Software Testing***. 3rd. ed. John Wiley & Sons, 2011.

MERHOLZ, Peter. ***Whither "User Experience"?*** Archive Interface Piece, [s.l.], 24 nov. 1998. Disponível em: <https://www.peterme.com/index112498.html>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MILGRAM, P. TAKEMURA, H. UTSUMI, A. KISHINO, F. ***Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum***. In: *Telemanipulator and telepresence technologies*. 1994. p. 282-292.

MILGRAM, P. ***Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum***. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*. 1994. 2351. 10.1117/12.197321.

MOHAMMADI, H. ***Social and individual antecedents of m-learning adoption in Iran***. *Computers in Human Behavior*, 49, p. 191–207, 2015.

NEWCOMBE, N. S. ***Increasing Math and Science Learning by Improving Spatial Thinking***. *American Educator*, 2010.

NIELSEN, J. ***Usability 101: Introduction to Usability***. Postado em: 3 jan. 2012. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

_____. ***Guerrilla HCI: Using Discount Usability Engineering to Penetrate the Intimidation Barrier***. Postado em: 1 jan. 1994. Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/guerrilla-hci/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

_____(a) ***How to conduct a heuristic evaluation***. Publicado em: 1 nov. 1994. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

_____ (b) **Usability Engineering**. 1ed. Mountain View, Ca; Morgan Kaufmann, 1994. ISBN: 0-12-518406-9

NIELSEN, J.; MOLICH, R. **Heuristic evaluation of user interfaces**. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '90)*. Association for Computing Machinery. New York, NY, USA, 249–256. 1990. DOI: 10.1145/97243.97281

NORMAN, D. **The invisible computer**. Cambridge: MIT Press, 1998.

NORMAN, D.; NIELSEN, J. **The definition of User Experience (UX)**. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

NUNES, F.; DE JESUS M. J. F.; LERMEN B. R.; CORADINI DE SOUZA, M. **The use of augmented reality in pedagogical practices in the areas of sciences and letters: an systematic literature review**. SciELO Preprints, 2021. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.3020.

OLIVEIRA, M. P.; SILVA, F. P. **Use of Virtual Reality and Augmented Reality in Learning Objects: a case study for technical drawing teaching**. *International journal of education and research*. v. 7, n. 1, p. 21-32, Jan. 2019. Disponível em: <https://www.ijern.com/journal/2019/January-2019/03.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Objetivo 9: indústria, inovação e infraestrutura. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>> Acesso em: 20 fev. 2024.

OZDAMLI, F.; UZUNBOYLU, H. **M-learning adequacy and perceptions of students and teachers in secondary schools**. *British Journal of Educational Technology*, 46 (1), p. 159–172, 2015.

PETERS, M.; CHISHOLM, P.; & LAENG, B. **Spatial ability, student gender, and academic performance.** *Journal of Engineering Education*, 84, 69-73. (1995).

PHAN, M. H.; KEEBLER, J. R.; CHAPARRO, B. S. **The Development and Validation of the Game User Experience Satisfaction Scale (GUESS).** *Human factors*, 58(8), 1217–1247. 2016.

POKEMON GO. **Pokemon Go.** Disponível em: <
<https://www.pokemon.com/br/app/pokemon-go>>. Acesso em: 23 dez. 2023.

PRENSKY, M. **Aprendizagem baseada em jogos digitais.** São Paulo: SENAC São Paulo, 2012. 575 p. ISBN 9788539602711.

PRIETO, G.; VELASCO, A. D. **Visualização Espacial, Raciocínio Indutivo e Rendimento Acadêmico em Desenho Técnico,** ABRAPEE, v. 10, n. 1, p. 11-19, 2006.

QUINONES, D.; RUSU, C. **How to develop usability heuristics: A systematic literature review.** *Computer Standards & Interfaces*, v. 53, p. 89–122. 2017.

RADU, I. **Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis.** *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6). 1533–1543. 2014.

RAVÉ, E. G., JIMÉNEZ-HORNERO, F. J., ARIZA-VILLAVERDE, A. B., e

TAGUAS-RUIZ, J. **DiedricAR: a mobile augmented reality system designed for the ubiquitous descriptive geometry learning.** *Multimedia Tools and Applications*, 75(16), 9641–9663. 2016.

REIS, G. **Fundamentos de UX – Conceitos e boas práticas.** 1. ed. Ed. do Autor, 2022. 627p. ISBN 978-65-00-47681-1

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** 3ª edição. São Paulo:

Atlas, 1999.

ROSCOE, D. D.; JENKINS, S. ***A Meta-Analysis of Campaign Contributions' Impact on Roll Call Voting.*** *Social Science Quarterly*, v. 86, n. 1, 2005.

SAFFER, D. ***Designing for Interaction: Creating Innovative Applications and Devices.*** 2. ed. Berkeley, CA: New Riders, 2009.

SANTOS, E. T. **Uma Proposta para uso de Sistemas Estereoscópicos Modernos o Ensino de Geometria Descritiva e Desenho Técnico.** III Congresso Internacional de Engenharia Gráfica Nas Artes e no Desenho. 2000.

SATTI, F.; HUSSAIN, J.; BILAL, H.; KHAN, W.; KHATTAK, A.; Y, J.; LEE, S. ***Holistic User Experience in Mobile Augmented Reality Using User eXperience Measurement Index.*** 2019. 1-6. 10.1109/NEXTCOMP.2019.8883528.

SCORTEGAGNA, L.; GONÇALVES, F. **Utilização de Realidade Aumentada na Otimização do Ensino-Aprendizagem de Desenho Técnico na Engenharia.** In: ANAIS CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E 1º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 46, 2018, Salvador, BA. Disponível em: http://www.abenge.org.br/sis_submetidos.php?acao=abrir&evento=COBENGE18&codigo=COBENGE18_00046_00001597.pdf. Acesso em: 01 jun. 2023.

SEABRA, R. D.; & SANTOS, E. T. ***Evaluation of the spatial visualization ability of entering students in a Brazilian engineering course.*** *Journal for Geometry and Graphics*, 12(1), 99–108. 2008.

SILVA, A.; RIBEIRO, C. T.; DIAS, J.; SOUZA, L. **Desenho Técnico Moderno.** 2006. Ed. LTC, 4ª ed., 2006.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico.** 23ª edição. 11ª reimpressão. São Paulo: Cortez, 2007.

SUTHERLAND, Ivan. ***The ultimate display***. 1965.

SUTHERLAND, Ivan E. ***A head-mounted three-dimensional display***. *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference, December*. part I. p. 757-764. 1968. DOI: doi.org/10.1145/1476589.1476686

TING, S. R. ***Predicting Academic Success of First-Year Engineering Students from Standardized Test Scores and psychosocial variables***. *International Journal of Engineering Education*, 17, 75-80. (2001).

THURSTONE, L. L. **Teste de Aptidões Mentais Primárias**. CEGOC. 1997.

TORI, R.; HOUNSELL, M. da S.; KIRNER, C. **Capítulo 1 - Realidade Virtual**. In: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: Editora SBC, 2018. p. 12-34.

TORRENTE, M. C. S. ***Sirius: Sistema de evaluación de la usabilidade web orientado al usuario y basado en la determinación de tareas críticas***. PhD. thesis. Universidad de Oviedo, Oviedo, España, 2011.

UNITY. ***Unity Platform***, 2023. Página inicial. Disponível em: <<https://unity.com/products/unity-platform/>>. Acesso em: 16 de dez. de 2023.

UXPA. ***User Experience Professionals Association. About. UX Education. What is User Experience (UX)***. Disponível em: <<https://uxpa.org/about-ux/>> Acesso em: 10 jan 2023.

VALENTE, V. C. P. N. (2003). **Desenvolvimento de um ambiente computacional interativo e adaptativo para apoiar o aprendizado de Geometria Descritiva**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01032004-152058/>

VALENTE, V. C. P. N.; & BENUTTI, M. A. **Sistema Hypergeo**. Departamento de Representação Gráfica da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP. 1997.

VALENTE, V. C. P. N. V. **Desenvolvimento da Visão Espacial por Games Digitais**. Appris. 2018.

VALENTE, V. C. P. N. V.; BARROS, V. F. A. **Ensino e aprendizagem mediados pela tecnologia**. Cadernos de Educação, Tecnologia e Sociedade, v. 13, p. 361-369, 2020. DOI: 10.14571/brajets.v13.n4.361-369

VOLPATO, E. **Pesquisa com usuários: como escolher a técnica certa?** UX Collective BR. Publicado em: 3 set. 2014. Disponível em: <<https://brasil.uxdesign.cc/pesquisa-com-usu%C3%A1rios-como-escolher-a-t%C3%A9cnica-certa-bdd09ee0f302>> Acesso em: 15 jan. 2024.

VEEN, W.; VRAKING, B. **Homo zapiens: educando na era digital**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 139 p. ISBN 9788536316864.

VUFORIA. **Vuforia Developer Portal**, 2023. Disponível em: <<https://developer.vuforia.com/>>. Acesso em: 16 dez. 2023.

WAGNER, D.; SCHMALSTIEG, D. **History and future of tracking for mobile phone augmented reality**. In: 2009 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality. Gwangju, S. Korea, pp 7–10. 2009.

WAGNER, D.; SCHMALSTIEG, D. **Making augmented reality practical on mobile phones, part 2**. *IEEE Comput Graph. Appl* 29:6–9. 2009b. DOI:10.1109/mcg.2009.67

WANG, J.; SENEAL, S. **Measuring perceived website usability**. *Journal of Internet Commerc.*, vol. 6, no. 4, p. 97–112. 2007.

WU, H.K.; LEE, S. W.Y.; CHANG, H.Y.; & LIANG, J.C. ***Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education.*** Computers & Education, 62, p41-49. 2013.

ZORZAL, E. R.; JORGE, J. A. P.; COSTA, G. G. **Desafios e Aplicações da Realidade Aumentada Móvel na Educação.** RENOTE, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 1–10, 2018. DOI: 10.22456/1679-1916.89239.

ANEXO A – LIVRETO



Explore modelos em Realidade Aumentada

Instale o aplicativo de Realidade Aumentada sem botões virtuais para Android no QrCode abaixo e comece a explorar! =)



Explore o primeiro objeto:



Explore o segundo objeto:



Explore o terceiro objeto:



Explore o quarto objeto:



Instale agora a versão do aplicativo com botões virtuais de interação e explore novamente os objetos.



Após a exploração dos objetos com as duas versões do aplicativo, Convido (a) Sr (a) para participar da pesquisa científica intitulada "Experiência do usuário no aplicativo HypergeoAR", no QrCode Abaixo:



Obrigado!

ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

Experiência do usuário no HypergeoAR

Essa pesquisa é destinada a pessoas que já utilizaram o aplicativo HypergeoAR. Por favor, responda às seguintes perguntas com base em sua experiência ao usar o aplicativo de Realidade Aumentada para visualização de Objetos Geométricos 3D. Sua opinião é fundamental para melhorar a qualidade do aplicativo.

Prezado (a),

Convido (a) Sr (a) para participar da pesquisa científica intitulada "Experiência do usuário no aplicativo HypergeoAR", desenvolvida por Adriano Bezerra, sob orientação da Prof.^a Dra. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente e vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia (Curso de Doutorado) da Faculdade de Arquitetura Artes e comunicação da UNESP - Bauru.

Sua participação é livre, ou seja, não é obrigatória, e mesmo que aceite agora, poderá se retirar da pesquisa quando desejar, sem nenhum prejuízo, basta encerrar o formulário. Destacamos que suas respostas são totalmente confidenciais e sigilosas, e em hipótese alguma serão entregues a pessoas que não sejam vinculadas diretamente a essa pesquisa.

O objetivo do presente estudo é analisar a experiência do usuário no aplicativo HypergeoAR e entender a influência dos botões virtuais na experiência do usuário e na usabilidade do aplicativo. O tempo previsto para seu preenchimento é de aproximadamente 5 minutos.

Respondendo esta pesquisa o(a) Sr(a) contribuirá na análise dos fatores que influenciam na experiência do usuário em aplicativos de realidade aumentada, o que servirá de alicerce para o aprimoramento deste aplicativo em diferentes formas. O(A) Sr(a) não será cobrado(a), de forma alguma, pela participação nesta pesquisa.

Caso o(a) Sr(a) concorde em participar do estudo, pedimos que selecione a opção "concordo em participar voluntariamente desta pesquisa" no campo indicado. Qualquer esclarecimento ou dúvidas referentes a essa pesquisa, por gentileza, envie ao e-mail adriano.bezerra@unesp.br, não hesite em perguntar.

Fui esclarecido sobre os propósitos da pesquisa, os procedimentos que serão utilizados e riscos e a garantia do anonimato e de esclarecimentos constantes, além de ter o meu direito assegurado de interromper a minha participação no momento que achar necessário, dessa forma eu *

Concordo em participar voluntariamente desta pesquisa

Próxima

Limpar formulário

Dados gerais

Nome *

Alemão

e-mail *

qualquer@gmail.com

idade *

Menos de 18 anos

18 a 20 anos

21 a 25 anos

26 a 30 anos

Mais de 30 anos

Já utilizou algum aplicativo de Realidade Aumentada (RA) antes do HypergeoAR? *

Sim

Não

[Voltar](#) [Próxima](#) [Limpar formulário](#)

App

Qual o tipo de aplicativo? *

Jogo (ex: pokémon go e afins)

Engenharia ou arquitetura

Educação

Outro: _____

[Voltar](#) [Próxima](#) [Limpar formulário](#)

Você recomendará o uso do HypergeoAR? *

Sim

Não

Deixe um comentário para melhorarmos o aplicativo! OBRIGADO!

Sua resposta