

MARIA EMILIA CASTELLO

MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA SOBRE AVALIAÇÃO DE
USABILIDADE E UX EM SOLUÇÕES HOLOGRÁFICAS TOCÁVEIS NO PERÍODO DE
ABRIL DE 2021 À ABRIL DE 2023

(versão pré-defesa, compilada em 30 de janeiro de 2024)

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Bacharelado em Ciência de Computação, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Natasha Malveira Costa Valentim.

Coorientador: Thiago Prado de Campos.

CURITIBA PR

2023

RESUMO

A interação com holografias tocáveis é explorada através de gestos e toques no ar, uma abordagem que busca capturar a naturalidade da interação com o mundo real ao interagir com elementos virtuais 2D e 3D em um ambiente real. Com uma maior disponibilidade de equipamentos *head-mounted-display* (HMD) mais avançados, essa forma de interação tornou-se mais viável. No entanto, garantir a qualidade da holografia por meio da interação ainda é um desafio, visto que não foram identificadas tecnologias de avaliação de usabilidade e experiência do usuário (*User eXperience* - UX) em um único instrumento capaz de avaliar os aspectos particulares das soluções holográficas tocáveis. Para abordar esse contexto, um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) foi realizado para identificar as tecnologias de avaliação relacionadas à avaliação de usabilidade e UX voltadas para soluções holográficas tocáveis entre os anos de 2013 e 2021. Os autores identificaram 40 publicações de um total inicial de 3.531 e identificaram 106 aplicações de tecnologias de avaliação de usabilidade e UX. Nesse estudo, os aspectos que mais apareceram estão relacionados à "Usabilidade Geral" e "UX Geral". Tendo em vista que as tecnologias estão em constante evolução, um novo MSL foi feito para identificar as tecnologias mais atuais entre os anos de 2021 à 2023, mantendo a consistência na metodologia e requisitos adotados no MSL original. Como resultado, obtiveram-se 25 publicações de um total inicial de 1.878 artigos. Foi identificada a utilização de equipamentos mais sofisticados em comparação ao MSL anterior como, por exemplo, HMDs que integram os recursos de projeção da holografia e detecção da interação. Sobre as tecnologias de avaliação, foram identificadas 94 aplicações, nas quais os aspectos mais frequentes foram "Eficácia" para usabilidade e "UX Geral" para UX.

Palavras-chave: Holografia. Usabilidade. Experiência do Usuário.

ABSTRACT

The interaction with touchable holograms is explored through mid-air gestures and touches. This interaction type aims to capture the naturalness of real-world interaction when engaging with 2D and 3D virtual elements in a real environment. With the increased availability of more advanced head-mounted display (HMD) equipment, this form of interaction has become more feasible. However, ensuring the quality of holography through interaction remains a challenge, as no usability and user experience (UX) evaluation technologies have been identified in a single instrument capable of assessing the particular aspects of touchable holographic solutions. To address this issue, a Systematic Mapping Study (SMS) was conducted to identify evaluation technologies related to usability and UX assessment for touchable holographic solutions between 2013 and 2021. The authors identified 40 publications from an initial total of 3,531 and identified 106 applications of usability and UX evaluation technologies. In this study, the most recurring aspects were related to "General Usability" and "General UX". Considering that technologies are constantly evolving, a new SMS was conducted to identify the most current technologies between 2021 and 2023, maintaining consistency in the methodology and requirements adopted in the original SMS. As a result, 25 publications were obtained from an initial total of 1,878 papers. The use of more sophisticated equipment was identified compared to the previous SMS, such as HMDs integrating holography projection and interaction detection features. Regarding assessment technologies, 94 applications were identified, in which the most frequent aspects were 'Effectiveness' for usability and 'General UX' for UX.

Keywords: Holography. Usability. User Experience.

LISTA DE FIGURAS

3.1	Resultado do filtro em duas etapas para seleção das publicações do MSL.	20
3.2	Publicações por Ano.	21
3.3	Locais de publicação	22
3.4	Publicações em Eventos.	23
3.5	Publicações em Periódicos.	23
3.6	Área que Realizou a Pesquisa (SQ2)	25
3.7	Critério de Qualidade (SQ3)	27
3.8	Tipo de Tecnologia de Avaliação (SQ4) - para avaliações de usabilidade	28
3.9	Aspectos em Tecnologias de Avaliação (SQ5) - frequência com foco em UX	29
3.10	Aspectos em Tecnologias de Avaliação (SQ5) - frequência com foco em usabilidade	29
3.11	Relação com Tecnologia de Avaliação Existente (SQ6)	30
3.12	Estudo Empírico (SQ 8.1)	32
3.13	Participantes por estudo (SQ8.2)	32
3.14	Natureza da Análise dos Resultados (SQ8.3).	33
3.15	Denominação para Holografia (SQ9).	33
3.16	Equipamento para Projeção Holográfica (SQ11.1)	34
3.17	Tecnologia para Detecção da Interação (SQ12)	35
3.18	Equipamento para Detecção da Interação (SQ12.1)	36
3.19	Finalidade da Solução (SQ13)	36
3.20	Tipo/Estilos de Gestos (SQ14)	37
3.21	Qualidade de Imagem Holográfica (SQ15)	38
3.22	Feedback (SQ16)	38
3.23	Publicações por Ano (Campos et al., 2023).	39
3.24	Área que Realizou a Pesquisa (SQ2) (Campos et al., 2023)	39

LISTA DE TABELAS

2.1	Objetivo de pesquisa estruturado no paradigma GQM	13
2.2	Subquestões da pesquisa - parte 1	14
2.3	Subquestões da pesquisa - parte 2	15
2.4	String de Busca	16
2.5	Critérios para Seleção das Publicações	18
3.1	Resumo das subquestões relacionadas às publicações	24
3.2	Resumo das subquestões relacionadas às tecnologias de avaliação	25
3.3	Lista de Tecnologias de Avaliação identificadas no MSL	26
3.4	Resumo das subquestões relacionadas às soluções holográficas	31

LISTA DE ACRÔNIMOS

DINF	Departamento de Informática
PPGINF	Programa de Pós-Graduação em Informática
UFPR	Universidade Federal do Paraná
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
AR	<i>Augmented Reality</i>
RA	Realidade Aumentada
ES	Engenharia de Software
IHC	Interação Humano-Computador
VR	<i>Virtual Reality</i>
MR	<i>Mixed Reality</i>
UX	<i>User experience</i>
MSL	Mapeamento Sistemático da Literatura
SHT	Solução Holográfica Tocável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTO	9
1.2	PROBLEMA E MOTIVAÇÃO	9
1.3	OBJETIVO	10
1.3.1	Objetivos Específicos	11
1.4	METODOLOGIA	11
1.5	ORGANIZAÇÃO	12
2	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA (MSL)	13
2.1	CONTEXTO	13
2.2	OBJETIVO	13
2.3	QUESTÕES DE PESQUISA	13
2.4	ESTRATÉGIA DE BUSCA	16
2.4.1	Termos de pesquisa	16
2.4.2	Escopo de pesquisa	16
2.4.3	Seleção das publicações	17
2.4.4	Critérios para Seleção	17
2.5	ESTRATÉGIA DE EXTRAÇÃO DE DADOS	17
3	RESULTADOS DO MSL	20
3.1	ANO DE PUBLICAÇÃO	20
3.2	LOCAIS DE PUBLICAÇÃO	21
3.3	SUBQUESTÕES RELACIONADAS ÀS PUBLICAÇÕES	23
3.3.1	SQ1 - Tipo de Contribuição da Publicação	23
3.3.2	SQ2 - Área que Realizou a Pesquisa	24
3.4	SUBQUESTÕES RELACIONADAS ÀS TECNOLOGIAS DE AVALIAÇÃO	24
3.4.1	SQ3 - Critério de Qualidade	24
3.4.2	SQ4 - Tipo de Tecnologia de Avaliação	27
3.4.3	SQ5 - Aspectos Cobertos pela Tecnologia de Avaliação	28
3.4.4	SQ6 - Relação com Tecnologia Existente	28
3.4.5	SQ7 - Avaliação Empírica da Tecnologia de Avaliação	29
3.5	SUBQUESTÕES SOBRE AS SOLUÇÕES HOLOGRÁFICAS	30
3.5.1	SQ8 - Estudo Empírico	30
3.5.2	SQ9 - Denominação dos Autores para Holografia	33
3.5.3	SQ10 - Modo para Apresentação da Holografia	34
3.5.4	SQ11 - Tecnologia de Projeção Holográfica	34
3.5.5	SQ12 - Tecnologia para Detecção do Toque	35

3.5.6	SQ13 - Finalidade da Solução Holográfica	35
3.5.7	SQ14 - Tipos/Estilos de Gestos	36
3.5.8	SQ15 - Qualidade da Imagem Holográfica	37
3.5.9	SQ16 - Presença de Feedback.	37
3.6	DISCUSSÃO	38
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A holografia, conforme definido por Zacharovas e Saxby (2015), refere-se a objetos virtuais gerados por computador que são integrados ao mundo real do usuário. As holografias tocáveis transcendem as fronteiras convencionais de interação e transformam hologramas em interfaces interativas (Rauschnabel et al., 2022). Estas interfaces oferecem uma variedade de aplicações, desde o controle de dispositivos distribuídos por ambientes até para entretenimento, por meio de jogos virtuais. A interação com holografias tocáveis, em particular, é explorada através de gestos e toques no ar, uma abordagem que busca replicar a naturalidade da interação com o mundo real. Rauschnabel et al. (2022) define a Realidade Aumentada (RA) como uma experiência híbrida entre conteúdo virtual e percepção do ambiente físico. Realidade Misturada é a mistura do real e do virtual, onde o virtual aumenta o real e o real aumenta o virtual, com uma proporção maior de elementos de natureza sintética (Fast-Berglund et al., 2018). Realidade Virtual é a substituição do mundo real por uma experiência simulada em 3D (Fast-Berglund et al., 2018). As soluções Holográficas Tocáveis (SHTs), adicionam uma camada de complexidade e desafios aos ambientes de VR/MR, que representam um avanço significativo e destacam a importância de avaliações precisas de usabilidade e UX. Segundo Nielsen (2012), a usabilidade é um atributo que avalia a facilidade de uso das interfaces de usuário. A medida em que as definições de usabilidade foram evoluindo, procurava-se estabelecer aspectos que relacionem eficácia, eficiência e satisfação. Por outro lado, a experiência do usuário (*User eXperience* - UX), transcende o conceito de usabilidade e abrange aspectos emocionais, estéticos e significativos da interação com um design específico (Norman e Nielsen, 2017; Hassenzahl, 2011). A interseção entre usabilidade, UX e SHTs apresenta desafios específicos. Este trabalho busca explorar a literatura existente para identificar e classificar pesquisas relacionadas à avaliação de usabilidade e UX em SHTs.

1.2 PROBLEMA E MOTIVAÇÃO

O problema abordado neste trabalho está relacionado à avaliação da usabilidade e da UX no contexto de SHTs. Um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) foi realizado por Campos et al. (2023) e teve como objetivo identificar e caracterizar as tecnologias de avaliação de usabilidade e da UX aplicadas a SHTs. A string de busca foi aplicada em abril de 2021 nas bibliotecas digitais ACM Digital Library, IEEEExplore e Elsevier Scopus e obteve como resultado final 40 publicações de 2013 a 2021.

No MSL de Campos et al. (2023), não foi encontrada nenhuma tecnologia de avaliação específica para avaliar a usabilidade e a UX no contexto de SHTs. Como “tecnologia”, compreende-

se uma generalização, a exemplo de Santos et al. (2012), para procedimentos, ferramentas, técnicas, metodologias e outras propostas realizadas na área de Interação Humano-Computador (IHC) ou Engenharia de Software (ES).

As SHTs estão em evolução, influenciadas por novas tecnologias, novos modos de interação, novos ambientes de uso e novos contextos. Em primeiro plano, temos o surgimento de equipamentos e dispositivos de realidade aumentada que apresentam avanços significativos em comparação a versões anteriores. Estes apresentam uma série de inovações em um único aparelho, como: maior conforto durante o uso, aumento do campo de visão, rastreamento avançado das mãos (capaz de reconhecer gestos naturais das mãos) sem uso de controles e melhoria de desempenho. Em seguida, percebe-se como os avanços implicam em novos formatos de interação e na necessidade de novas pesquisas na área envolvendo fatores como a usabilidade e UX. Com essa evolução, os usuários estão cada vez mais imersos em ambientes nos quais elementos reais e virtuais se entrelaçam, formando uma nova realidade. Isso destaca um cenário inovador, distinto daquele ao qual estamos acostumados, com a presença predominante de telas *touchscreen*.

Diante desse cenário, surge a necessidade de se explorar abordagens mais apropriadas para avaliar a usabilidade e a UX específicas para SHTs. Mediante nova análise, em um contexto temporal atual, será possível continuar mapeando e identificando possíveis problemas e falhas no design. Além disso, permitirá contribuir para melhorias que elevem a satisfação do usuário e, com isso, incentivar a adoção de novos ambientes de SHTs.

De maneira geral, a questão principal que se busca responder nesse MSL é “Quais tecnologias são usadas para avaliar a usabilidade e a UX em soluções e interfaces holográficas tocáveis?”. Ao identificar as tecnologias usadas espera-se compreender os aspectos cobertos na avaliação e quais as principais características e contexto da solução holográfica avaliada.

Levando em consideração o contexto das SHTs, o cenário visto pelo MSL de Campos et al. (2023) pode não refletir o cenário atual. Neste intervalo de tempo (2021 à 2023) pode ter havido crescimento do interesse de pesquisadores por este tema junto com a movimentação da indústria no desenvolvimento e popularização de HMDs, evidenciado pelo lançamento de novos equipamentos como o Meta Quest Pro [1] e pela venda de cinco vezes mais equipamentos de RA/RV no período de 2021-2023 em relação ao ano de 2020 [2].

1.3 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é a extensão do MSL feito por Campos et al. (2023) sobre Avaliação de Usabilidade e UX em SHTs. Para isso, mantém-se a mesma rota de pesquisa do MSL anterior, mas com um foco temporal distinto, de 2021 a 2023. O foco é manter a consistência da metodologia e requisitos adotados na pesquisa original para se manter alinhados ao objetivo de compreender as mudanças e desenvolvimentos recentes no campo das SHTs.

1.3.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal são também elencados os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar e caracterizar as informações relacionadas ao ano e local de publicação das tecnologias de avaliação de usabilidade e UX que estão sendo atualmente usadas para avaliar SHTs;
2. Identificar e caracterizar as informações das tecnologias de avaliação de usabilidade e UX (Critério de qualidade, tipo de tecnologia de avaliação, aspectos e métricas cobertos pela tecnologia de avaliação, e a relação com tecnologias já existentes) que estão sendo atualmente usadas;
3. Identificar e caracterizar os principais aspectos relacionados ao estudo e apresentação das SHTs;
4. Analisar a versão atual do MSL em comparação com o MSL anterior, a fim de identificar a evolução e as principais tendências nos padrões de escolha relacionados às SHTs.

1.4 METODOLOGIA

O principal objetivo de um MSL é fornecer uma visão geral de uma área de pesquisa e identificar a quantidade, o tipo de pesquisa e resultados disponíveis dentro dela (Petersen et al., 2008). Para esse MSL, foram seguidas as diretrizes propostas por Kitchenham et al. (2016) e Petersen et al. (2008). Inicialmente, definiu-se o objetivo do MSL, conforme o paradigma *Goal-Question-Metrics (GQM)*, proposto por Basili et al. (1994). A partir dele, identificou-se a questão principal de pesquisa a ser respondida pelo MSL e, para compreender melhor aspectos e características particulares, foram definidas também subquestões a serem respondidas por cada publicação. Os termos de pesquisa foram baseados na estratégia *Population, Intervention, Comparison, Outcome and Context (PICOC)* (Kitchenham et al., 2016) e foram aplicados nas bibliotecas digitais ACM Digital Library, IEEEExplore e Elsevier Scopus.

A seleção das publicações consistiu de duas etapas e ocorreu de forma colaborativa, a partir de critérios de exclusão e inclusão predefinidos. Na primeira etapa, as publicações foram avaliadas com base em seus metadados (título, resumo, tipo de publicação, idioma, dentre outros). Na segunda etapa, as publicações aceitas na primeira etapa passaram por uma avaliação com base nos textos completos. Em ambas as fases, as publicações foram avaliadas de forma individual e gerado um consenso. Finalmente, para as publicações aceitas em segunda etapa, realizou-se a extração de dados, que buscou responder às subquestões da pesquisa, por meio de informações contidas nas publicações.

1.5 ORGANIZAÇÃO

Este capítulo apresenta uma introdução ao assunto, incluindo uma contextualização, uma breve fundamentação teórica, a delimitação do problema e a motivação da pesquisa, além dos objetivos e metodologia da pesquisa. A sequência do trabalho está organizada da seguinte maneira:

Capítulo 2 - Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL): este capítulo apresenta o MSL conduzido para identificar e classificar pesquisas relacionadas à avaliação de usabilidade e UX em SHTs. Inclui informações a respeito de planejamento e condução do estudo.

Capítulo 3 - Resultados do MSL: este capítulo abrange os resultados obtidos do MSL realizado, abordando uma discussão a respeito dos resultados obtidos e como eles se relacionam com o MSL anterior (Campos et al., 2023).

Capítulo 4 - Conclusão: este capítulo apresenta as conclusões alcançadas por meio dessa pesquisa e as principais contribuições.

2 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA (MSL)

2.1 CONTEXTO

Este capítulo apresenta a extensão do Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) realizado por Campos et al. (2023). Essa pesquisa traçou um importante panorama no campo da avaliação da usabilidade e experiência do usuário em soluções holográficas tocáveis. A extensão buscou seguir a mesma metodologia de pesquisa mas com um foco temporal distinto. Enquanto o mapeamento original examinou o período até 25 de abril de 2021, o presente trabalho tem como objetivo realizar a continuação a partir dessa data até o dia 25 de abril de 2023, a fim de identificar as tendências atuais de pesquisas sobre o tema.

A metodologia e planejamento adotados na condução deste MSL são apresentados neste capítulo, com o objetivo de identificar as tendências atuais de pesquisas sobre o tema, identificando e caracterizando quais tecnologias de avaliação e usabilidade de UX estão sendo aplicadas nas soluções holográficas tocáveis nesses dois últimos anos. Para apoiar o planejamento e condução deste MSL foi utilizada Porifera (Campos et al., 2023), uma ferramenta online e colaborativa.

2.2 OBJETIVO

No quadro 2.1, é apresentado o objetivo, com base no paradigma *Goal-Question-Metrics (GQM)* proposto por Basili et al. (1994).

Quadro 2.1: Objetivo de pesquisa estruturado no paradigma GQM

Analisar	publicações científicas
Com o propósito de	identificar e caracterizar
Com relação	às tecnologias de avaliação de usabilidade e da UX aplicadas a soluções holográficas tocáveis
Do ponto de vista de	pesquisadores de IHC, ES, AR e MR
No contexto de	publicações científicas disponíveis nas bibliotecas digitais ACM Digital Library, IEEE Xplore e Elsevier Scopus

2.3 QUESTÕES DE PESQUISA

A principal questão a ser respondida pelo MSL é "Quais tecnologias são usadas para avaliar a usabilidade e a UX em soluções e interfaces holográficas tocáveis?" que tenham sido publicadas no período de 2021 à 2023. Para compreender os aspectos cobertos na avaliação e as principais características das soluções holográficas identificadas, uma série de subquestões foram criadas, conforme listado nos Quadros 2.2 e 2.3.

Quadro 2.2: Subquestões da pesquisa - parte 1

Subquestão	Possíveis Respostas
SQ1. Qual o tipo de contribuição do artigo?	Conforme proposto por Wieringa et al. (2006), o tipo de contribuição de um artigo pode ser: pesquisa de avaliação (<i>evaluation research</i>), proposta de solução (<i>proposal of solution</i>), pesquisa de validação (<i>validation research</i>), de caráter filosófico (<i>philosophical paper</i>), de opinião (<i>opinion paper</i>) ou de experiência pessoal (<i>personal experience paper</i>)
SQ2. Por qual área a pesquisa foi realizada?	Procurou-se identificar a origem (vínculo) dos autores a fim de determinar se a pesquisa foi realizada no âmbito da Administração, Computação, Engenharias, Medicina, dentre outras áreas.
Subquestões para cada tecnologia de avaliação identificada na publicação	
SQ3. Qual critério de qualidade é o foco da tecnologia de avaliação?	Usabilidade, UX ou ambos
SQ4. Qual o tipo de tecnologia de avaliação?	Se Usabilidade, conforme Ivory e Hearst (2001) pode ser Teste, Inspeção, Investigação, Modelagem Analítica ou Simulação. Se UX, conforme Roto et al. (2009) pode ser Estudo de Laboratório, Estudo de Campo, <i>Survey</i> , Avaliação por Especialista.
SQ5. Quais os aspectos ou métricas foram considerados na tecnologia de avaliação?	Preferencialmente, buscou-se identificar os aspectos de usabilidade e/ou UX, tais como eficácia, eficiência, satisfação, diversão, dentre outros. Não sendo possível identificar os aspectos, indicaram-se as métricas usadas na avaliação, tais como tempo para completar a tarefa.
SQ6. A tecnologia de avaliação identificada se baseou em alguma tecnologia já existente ou foi criada para o estudo?	As tecnologias identificadas foram classificadas em: baseou-se parcialmente; baseou-se integralmente e; criada para o estudo.
SQ7. A tecnologia foi avaliada empiricamente? SQ7.1 Se sim, qual o tipo de experimento?	Sim ou Não As respostas a esta questão podem variar a cada publicação. Por exemplo, possíveis respostas são estudo de viabilidade, estudo de observação, estudo de caso, dentre outros.

Quadro 2.3: Subquestões da pesquisa - parte 2

Subquestões para cada tecnologia de avaliação identificada na publicação	
Subquestão	Possíveis Respostas
SQ8. A solução holográfica foi submetida a um estudo empírico?	Sim ou Não
SQ8.1 Qual o método empírico utilizado?	De acordo com Easterbrook et al. (2008), possíveis métodos empíricos podem ser survey, experimentos controlados, estudo de caso, etnografia ou pesquisa-ação.
SQ8.2 Quantas pessoas participaram do estudo?	Valor numérico
SQ8.3 Qual foi o tipo de análise dos resultados do estudo?	Quantitativa; qualitativa ou; ambas.
SQ9. Como a holografia foi denominada no estudo?	As respostas a esta questão foram classificadas em: AR, MR ou outra denominação. No caso de outra denominação, esta deveria ser indicada.
SQ10. De que modo a holografia é apresentada ao usuário?	O modo de apresentação da holografia foi classificado em: por meio de um fenômeno físico óptico ou por meio de projeção em tela/visor.
SQ11. Qual tipo de tecnologia usada para (re)produzir a holografia?	Os tipos de tecnologia foram classificados em: material reflexivo; fog screen + projetor; holographic display; smartphone ou tablet; HMD; smartglass ou; outro.
SQ11.1. Qual fabricante e modelo da(s) tecnologia(s) usada(s) para projeção?	Esta é uma questão cujas respostas poderiam variar a cada publicação. Exemplos de fabricantes e modelos podem ser: MS Hololens TM , Google Glass TM , dentre outros.
SQ12. Qual tipo de tecnologia usada para detectar a interação (toque)?	Os tipos de tecnologia foram classificados em: câmera NIR externa; câmera RGB-D embutida; câmera RGB-D externa; câmera RGB embutida; câmera RGB externa ou; outro.
SQ12.1 Qual fabricante e modelo da(s) tecnologia(s) usada(s) para detectar a interação?	Esta é uma questão cujas respostas poderiam variar a cada publicação. Exemplos de fabricantes e modelos podem ser: Leap Motion Controller TM , Intel RealSense D145 TM , dentre outros.
SQ13. Para qual finalidade a solução holográfica foi criada?	Esta é uma questão cujas respostas poderiam variar a cada publicação. Exemplos de respostas podem ser: estudo da interação, montagem de equipamento, jogo de entretenimento, dentre outros.
SQ14. Quais os tipos/estilos de gestos com toque permitidos pela solução?	Conforme classificação de Aigner et al. (2012): pointing, pantomimic ou manipulation
SQ15. Qual a qualidade da imagem da projeção holográfica tocada pelo usuário?	Esta questão permitia mais de uma resposta, dentre as opções: WIMP ou 2D com transparência, objeto 3D cru (raw) e objeto 3D próximo ao real (com iluminação, sombra ou textura)
SQ16. Existe um feedback da ação de toque? Por qual meio?	Esta questão permitia mais de uma resposta, dentre as opções: não; visual; auditivo; ultrassônico e; outro.

2.4 ESTRATÉGIA DE BUSCA

As estratégias de busca relacionadas aos termos de pesquisa e escopo foram descritas a seguir.

2.4.1 Termos de pesquisa

O termos escolhidos foram baseados na estratégia *Population, Intervention, Comparison, Outcome and Context* (PICOC) (Kitchenham et al., 2016), para representar o contexto e objetivo da pesquisa. A *string* final continha os componentes *Population, Intervention e Outcome* (Quadro 2.4). Os operadores booleanos "OR" foram utilizados para indicar sinônimos ou alternativas e os "AND" foram utilizados para unir os termos em cada componente e também para unir todos os componentes.

Quadro 2.4: String de Busca

<p>(“holographic” OR “holography” OR “hologram” OR “augmented reality” OR “extended reality” OR “mixed reality”) AND (“touchable” OR “tangible” OR “touchless” OR “mid-air”)</p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p>(“method” OR “methodology” OR “approach” OR “technique” OR “solution” OR “framework” OR “proposal” OR “tool”)</p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p>((“usability” OR “user experience” OR “UX” OR “user satisfaction”) AND (“evaluation” OR “assessment”))</p>

2.4.2 Escopo de pesquisa

A *string* de busca definida foi utilizada nas bibliotecas digitais ACM Digital Library, IEEE Xplore e Elsevier Scopus. A ACM Digital Library é especializada em publicações na área da Computação; a IEEE Xplore abrange as áreas de Engenharias, Computação, Tecnologia da Informação, entre outras; e a Elsevier Scopus engloba diversas bases interdisciplinares. O

objetivo da busca foi encontrar publicações relevantes tanto da área da Computação, quanto fora dela.

A única restrição adicional aplicada à busca foi temporal, para limitar o espaço de tempo para 25 de abril de 2021 à 25 de abril de 2023. Nenhuma restrição adicional foi aplicada, com a intenção de permitir que os termos de pesquisa fossem o mais abrangente possíveis e obter uma quantidade maior de publicações, e para não perder trabalhos relevantes que poderiam não conter exatamente os termos indicados em seus metadados.

2.4.3 Seleção das publicações

O processo de seleção das publicações aconteceu em duas etapas, de forma colaborativa e com base em critérios de inclusão e exclusão predefinidos (Quadro 2.5). Três pesquisadores participaram de ambas as etapas, que consistiram em dois processos de seleção das publicações, com o objetivo de reduzir o viés que ocorreria se fosse realizado apenas por um pesquisador.

Na primeira etapa, as publicações foram analisadas com base em título, resumo, tipo de publicações, dentre outros. Os pesquisadores avaliaram de forma individual, sem conhecer o critério aplicado pelos demais pesquisadores e com base nos critérios de inclusão e exclusão, 282 publicações, correspondente a 15% das publicações identificadas. Havendo discordância, os pesquisadores discutiam em reunião. Essas avaliações serviram para nivelar o conhecimento e ajustar os critérios. Com isso, atingiu-se um nível de concordância que permitiu o prosseguimento da avaliação das demais 85% das publicações por apenas um dos pesquisadores, para tornar o processo mais rápido.

Na segunda etapa, todas as 100 publicações aceitas na primeira etapa passaram pela avaliação de todos os pesquisadores. Nesse segundo filtro, os pesquisadores analisaram de forma individual o texto completo das publicações. Havendo concordância, a publicação passava para a fase de extração de dados, caso contrário, os pesquisadores discutiam em reunião e chegavam a um consenso. Ao final, 25 publicações passaram para a fase de extração de dados.

2.4.4 Critérios para Seleção

Foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão (Quadro 2.5) para selecionar as publicações de forma a que tivessem informações úteis para extrair os dados e conseqüentemente, responder as questões de pesquisa. Para cada publicação, se correspondesse a pelo menos um critério de exclusão, era excluída e se correspondesse a pelo menos um critério de inclusão, era incluída.

2.5 ESTRATÉGIA DE EXTRAÇÃO DE DADOS

Nessa fase do MSL, procurou-se responder às subquestões de pesquisa por meio das informações contidas nas publicações selecionadas. A extração foi feita com base em um formulário modelo que era instanciado para cada uma das publicações. Após realizadas todas

Quadro 2.5: Critérios para Seleção das Publicações

Código	Natureza	Descrição
E1	Exclusão	Publicação não disponível nos idiomas inglês ou português. O inglês é o idioma adotado pela grande maioria das conferências internacionais e periódicos e, o português é o idioma nativo dos autores desta pesquisa e oficial no país das instituições as quais estão vinculados.
E2	Exclusão	Publicação não é revisada por pares, isto é, não foi publicada em periódico ou evento científico antecedido por revisão. Aplica-se também a livro, capítulo de livro, nota, relatório, publicação técnica, dentre outros.
E3	Exclusão	Publicação não é um full paper e pode não conter detalhes da pesquisa. Aplica-se a short papers e pôsteres.
E4	Exclusão	Publicação não é um artigo único. O resultado retornado pela ferramenta de busca pode ser referência a uma coleção de artigos ou outros tipos de publicações, como proceedings, livros, chamadas de eventos, dentre outros.
E5	Exclusão	Publicação exige pagamento para acesso e não está acessível pelos proxies institucionais disponíveis aos autores do MSL. Antes de enquadrar a publicação neste critério, devia-se verificar se havia uma cópia da publicação disponível publicamente na internet por meio de outros sites de compartilhamento legal, como, por exemplo, na biblioteca da instituição ao qual os autores da publicação estão vinculados ou em páginas de internet mantida pelos próprios autores, ou grupos de pesquisa.
E6	Exclusão	Publicação já foi incluída por outra biblioteca (fonte de pesquisa) utilizada neste MSL, tratando-se de uma publicação duplicada.
E7	Exclusão	Publicação não reporta um estudo primário, mas trata-se de um estudo secundário (revisão ou mapeamento sistemático, ou outros levantamentos).
E8	Exclusão	Publicação não atende a qualquer critério de inclusão, isto é, não atende ao escopo e questão principal de pesquisa.
I1	Inclusão	Publicação avalia solução holográfica tocável em termos de UX ou usabilidade.
I2	Inclusão	Publicação traz uma nova proposta de avaliação de UX e/ou Usabilidade para uma solução holográfica tocável.
I3	Inclusão	Publicação avalia uma nova proposta de avaliação de UX e/ou Usabilidade para uma solução holográfica tocável.

as extrações, os dados foram contabilizados em uma planilha para a realização de contagem, cálculos estatísticos e plotagem de gráficos, a fim de compreender melhor os resultados obtidos. A extração foi feita por um dos pesquisadores e conferida em conjunto com os demais.

3 RESULTADOS DO MSL

A *string* de busca foi submetida no dia 25 de abril de 2023. Na busca, foram filtradas as pesquisas publicadas no período de 25 de abril de 2021 à 25 de abril de 2023. Assim, a busca obteve 1.878 publicações, sendo 496 da ACM Digital Library, 309 da IEEEExplore e 1.073 da Elsevier Scopus.

No primeiro filtro (Figura 3.1), todos os pesquisadores avaliaram as primeiras 282 publicações, correspondente a 15% das publicações identificadas nessa extensão do MSL. Estas avaliações obtiveram uma concordância de 91,49% e um índice Kappa (Fleiss, 1971) de 0,6213, considerado "bom". No total, o 1º filtro resultou em 100 publicações aceitas dos 1878 artigos identificados.

As avaliações do 2º filtro foram realizadas por todos os participantes para todas as 100 publicações aceitas no 1º filtro. Nesta etapa, a concordância foi de 88% e o índice Kappa ficou em 0,7847, considerado "bom". Do 2º filtro resultaram 25 publicações aceitas, as quais foram feitas as extrações de dados.

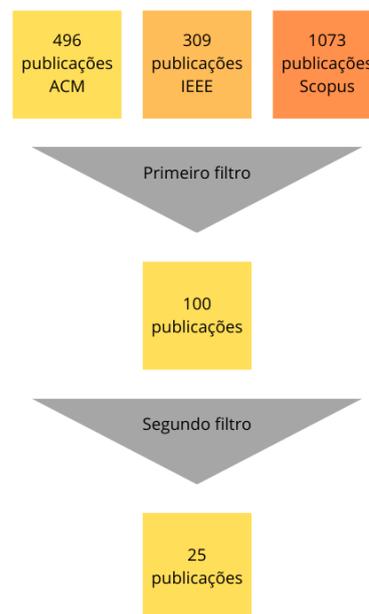


Figura 3.1: Resultado do filtro em duas etapas para seleção das publicações do MSL.

3.1 ANO DE PUBLICAÇÃO

As publicações selecionadas aconteceram entre abril de 2021 e abril de 2023, sendo que 64% (16 de 25) delas foram publicadas em 2022 e 28% (7 de 25) das publicações selecionadas

foram publicadas em 2021 (Figura 3.2). No ano de 2023, obteve-se apenas duas publicações, que representam somente 8% das publicações analisadas nessa extensão.

No ano de 2021, percebe-se um número baixo de publicações. Essa redução coincide com o período de mais casos confirmados da pandemia da Covid-19 (Mathieu et al., 2020), principalmente no ano de 2021. Considerando, que em todas as publicações de ambos os mapeamentos, todas as soluções foram submetidos a estudos empíricos, tanto estudos controlados quanto estudos de caso, associou-se a diferença à impossibilidade de se realizarem estudos em laboratórios ou espaços de concentração de pessoas durante a pandemia da Covid-19.

O ano de 2022 foi o ano com o maior número de publicações sobre o tema. Com a popularização de equipamentos que permitiram a criação de soluções com equipamento único, como o MS Hololens™ 2, percebe-se uma crescente popularização de estudos na área. No ano de 2023, a extração das publicações ocorreu em abril. Por isso, obteve-se somente duas publicações durante esse período.

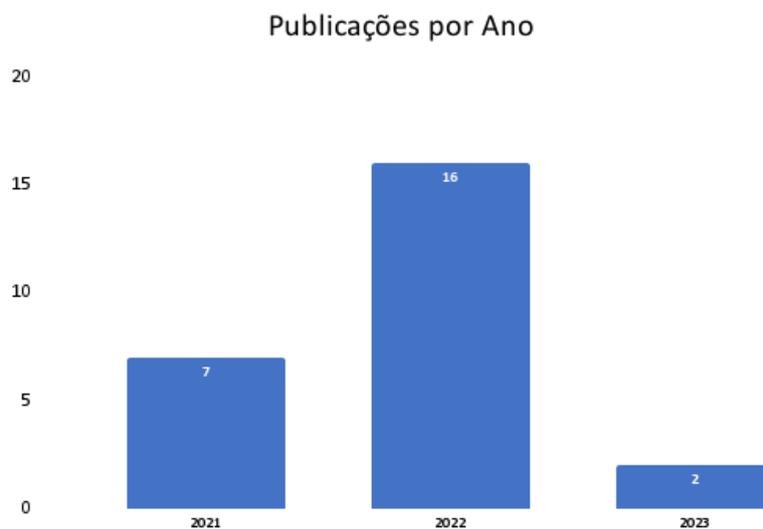


Figura 3.2: Publicações por Ano.

3.2 LOCAIS DE PUBLICAÇÃO

Com relação à distribuição geográfica das publicações, 40% das publicações são da Europa (10, publicações: Alemanha, Eslovênia, Espanha, Grécia e França, uma cada; Dinamarca, duas e; Reino Unido, três). Na América do Norte, temos 32% das publicações (Estados Unidos: 8 publicações) e na Ásia, temos 28% das publicações (7, publicações: Coreia do Sul, Taiwan, dois cada e; China, cinco) (Figura 3.3). Considerou-se como origem o país da maioria dos autores ou do primeiro autor.

Os países listados são países desenvolvidos e possuem renda per capita maior que países da América do Sul, América Central e África. Além disso, nesses países temos uma concentração maior de laboratórios e grupos de pesquisa especializados nas áreas de VR/AR/MR. Ademais,

tivemos publicações com autores em comum, o que gerou uma concentração em alguns países, como é o caso de Qian et al. (2021), Qian et al. (2022) e Wang et al. (2021), no qual todos são da Purdue University, nos Estados Unidos. Outro caso é o de Lystbæk et al. (2022b) e Lystbæk et al. (2022a), no qual ambos são da Aarhus University, na Dinamarca.

Sobre o local de publicação (evento ou periódico), a distribuição ficou em 60% para eventos (15 de 25) e 40% para periódicos (10 de 25). Com relação aos eventos, o que mais se destacou foi o IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) (40%, 6 de 15) (Figura 3.4), uma referência nas áreas de VR/AR/MR. As seis publicações são do ano de 2022, o mesmo ano em que o ISMAR alcançou um número historicamente alto em termos de artigos e participantes. Em segundo e terceiro lugar, temos o ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (ACM CHI) e o ACM Symposium on User Interface Software and Technology (ACM UIST), com 13,3% cada (2 de 15). A ACM CHI é a principal conferência da área de IHC, organizada pelo grupo de interesse especial em IHC (Special Interest Group on Human-Computer Interaction, SIGCHI) e o UIST, reúne pesquisadores e profissionais de diversas áreas que incluem interfaces de usuário gráficas e da web tradicionais, computação tangível e onipresente, VR e AR, multimídia, dentre outros tópicos (Campos et al., 2023).

Com relação aos periódicos, o que mais se destacou foi o IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, com quase um terço das publicações (3 de 10) e o Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction (PACMHCI) com duas publicações (Figura 3.5). Além disso, teve-se uma distribuição uniforme de publicações em periódicos que abrangem outras áreas, tais como Informação, Ciências Aplicadas, Educação e Sistemas Multimídia.

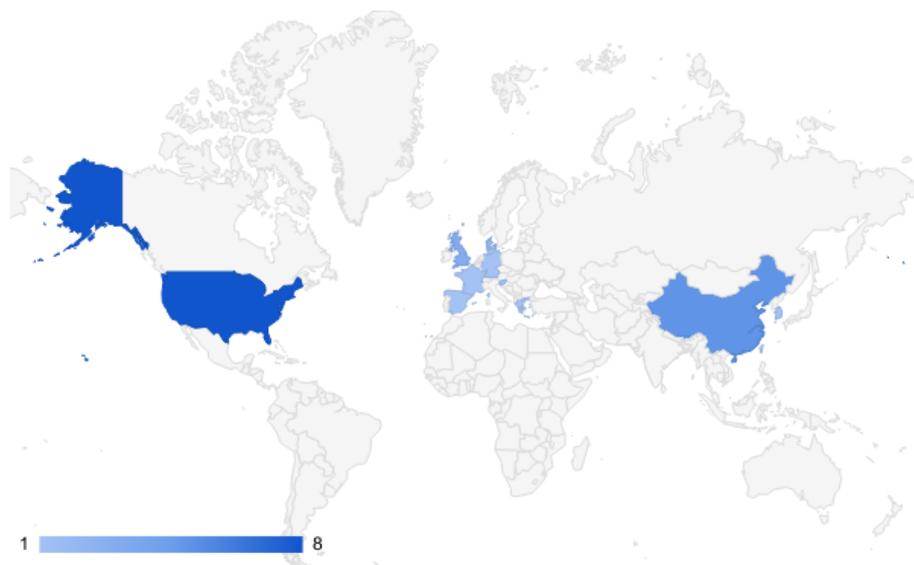


Figura 3.3: Locais de publicação

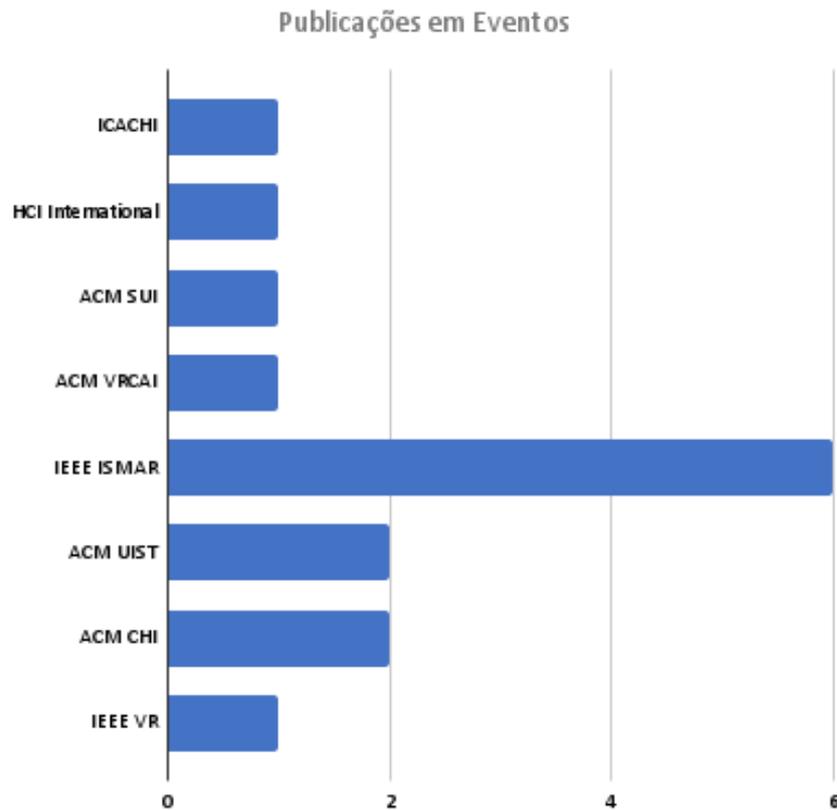


Figura 3.4: Publicações em Eventos.



Figura 3.5: Publicações em Periódicos.

3.3 SUBQUESTÕES RELACIONADAS ÀS PUBLICAÇÕES

Esta seção apresenta as subquestões relacionadas às publicações (Quadro 3.1).

3.3.1 SQ1 - Tipo de Contribuição da Publicação

As 25 publicações apresentam uma pesquisa de validação (validation research). Nesse MSL, as pesquisas investigaram, por meio de aplicação de tecnologias de avaliação de usabilidade

Quadro 3.1: Resumo das subquestões relacionadas às publicações

Subquestão	Possíveis Respostas	Resultados (Publicações)
SQ1. Qual o tipo de contribuição do artigo?	<i>validation research</i>	25 100%
SQ2. Por qual a área a pesquisa foi realizada?	Computação Engenharias Outras	10 40% 10 40% 5 20%

e UX, as SHTs. As pesquisas foram realizadas em ambientes laboratoriais ou controlados para analisar propostas por meio de experimentos, análises, dentre outros. Por exemplo, em Wang et al. (2021), os autores investigaram uma interface que utiliza rastros virtuais de luz em realidade aumentada para permitir o movimento da luz e criar padrões com diferentes traços e cores. A investigação envolveu tanto aspectos de usabilidade quanto de UX. Por meio de um estudo de caso, investigaram como os usuários manipularam os objetos de luz usando interação por toque. Usando um HMD (MS Hololens™ 2), cada participante realizou algumas tarefas e respondeu dois questionários de usabilidade. O primeiro envolveu aspectos como satisfação, utilidade e facilidade de uso. O segundo foi uma aplicação do System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996). Além disso, os participantes foram entrevistados para coletar informações sobre a UX no geral. Após validar a solução, foram discutidas melhorias futuras. Não houve publicações cuja contribuição tenha sido classificada em pesquisa de avaliação (*evaluation research*), de caráter filosófico (*philosophical paper*), de opinião (*opinion paper*) ou de experiência pessoal (*personal experience paper*).

3.3.2 SQ2 - Área que Realizou a Pesquisa

Nas publicações selecionadas houve um equilíbrio entre as áreas de Ciência da Computação e Engenharias, com 40% cada uma (10 de 25 cada) (Figura 3.6). Em Serrano et al. (2022), a origem da publicação é o Departamento de Ciência da Computação da Universidade de Valencia (UV) na Espanha. Uma parte das publicações (5 de 25) se concentrou nas áreas de Design, como o trabalho de Wang et al. (2022), e Ciências Médicas, como o trabalho de Yu et al. (2022).

3.4 SUBQUESTÕES RELACIONADAS ÀS TECNOLOGIAS DE AVALIAÇÃO

Esta seção apresenta as subquestões relacionadas às tecnologias de avaliação (Quadro 3.2). A lista de tecnologias de avaliação identificadas no MSL são apresentadas no Quadro 3.3.

3.4.1 SQ3 - Critério de Qualidade

Entre os critérios de qualidade, as tecnologias de avaliação foram classificadas entre usabilidade, UX ou ambas. Para determinar de que forma seriam classificadas, primeiramente foi respeitada a denominação dada pelo autor da publicação. Para aquelas publicações em que o

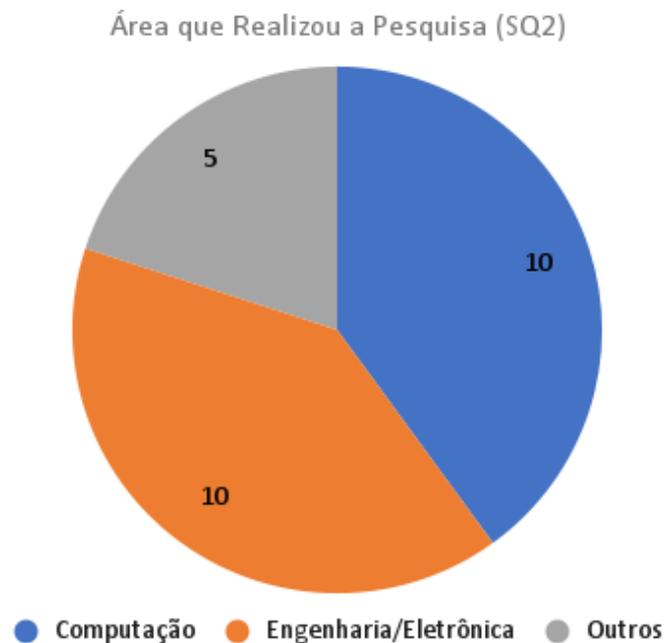


Figura 3.6: Área que Realizou a Pesquisa (SQ2)

Quadro 3.2: Resumo das subquestões relacionadas às tecnologias de avaliação

Subquestão	Possíveis Respostas	Resultados (Publicações)
SQ3. Qual critério de qualidade é o foco da tecnologia de avaliação?	usabilidade UX usabilidade e UX	53 56,3% 39 41,4% 2 2,1%
SQ4. Qual o tipo de tecnologia de avaliação?	usabilidade - teste usabilidade - investigação UX - <i>survey</i>	20 36,6% 35 63,6% 41 100%
SQ6. A tecnologia de avaliação identificada se baseou em alguma tecnologia já existente ou foi criada para o estudo?	Sim, totalmente Sim, parcialmente Não	28 29,7% 4 4,25% 62 65,9%
SQ7. A tecnologia foi avaliada empiricamente?	Sim Não	0 0% 94 100%

autor não tornou explícito qual era o critério, foi avaliado se os aspectos estavam relacionados a componentes clássicos da usabilidade, como eficácia e eficiência; em UX, foi avaliado se os aspectos estavam relacionados a componentes hedônicos. Em tecnologias de avaliação apresentadas no formato de questionário, as perguntas foram classificadas de acordo com os componentes extraídos. Por exemplo, em Hu et al. (2022), os participantes do experimento controlado responderam um questionário que continha as seguintes perguntas: *I feel like this technique 1) Is comfortable to use; 2) Is easy to learn; 3) Is intuitive to use; 4) Allows me to move the caret quickly; 5) Allows me to move the caret accurately*. Embora não tivesse denominação dos autores, foram classificadas como usabilidade.

Quadro 3.3: Lista de Tecnologias de Avaliação identificadas no MSL

ID	Autores/Ano	IDs para Tecnologias de Avaliação	Qtde
17	(Venkatakrisnan et al., 2023)	ET01, ET02, ET03	3
111	(Zhao et al., 2023)	ET04	1
147	(Liu et al., 2022)	ET05, ET06, ET07, ET08	4
159	(Wang et al., 2022)	ET09, ET10, ET11	3
288	(Serrano et al., 2022)	ET12, ET13, ET14	3
416	(Pei et al., 2022)	ET15, ET16	2
444	(McCord et al., 2022)	ET17, ET18	2
527	(Shen et al., 2022)	ET19, ET20	2
538	(Jang et al., 2022)	ET21, ET22	2
539	(Plasson et al., 2022)	ET23, ET24, ET25, ET26, ET27, ET28, ET29	7
745	(Flick et al., 2021)	ET30, ET31, ET32, ET33, ET34, ET35	6
775	(He et al., 2021)	ET36, ET37, ET38, ET39	4
962	(Bozgeyikli e Bozgeyikli, 2021)	ET40, ET41, ET42, ET43	4
1022	(Chien e Lin, 2021)	ET44, ET45	2
1080	(Wang et al., 2021)	ET46, ET47, ET48	3
1085	(Lystbæk et al., 2022b)	ET49, ET50, ET51, ET52	4
1102	(Uzor e Kristensson, 2022)	ET53, ET54, ET55, ET56, ET57, ET58, ET59	7
1135	(Qian et al., 2021)	ET60, ET61, ET62, ET63	4
1146	(Qian et al., 2022)	ET64, ET65, ET66, ET67	4
1212	(Lystbæk et al., 2022a)	ET68, ET69, ET70, ET71, ET72	5
1596	(Hu et al., 2022)	ET73, ET74, ET75	3
1603	(Li et al., 2022)	ET76, ET77, ET78, ET79, ET80	5
1626	(Daskalogrigorakis et al., 2022)	ET81, ET82, ET83, ET84	4
1628	(Yu et al., 2022)	ET85, ET86, ET87, ET88	4
1733	(Weerasinghe et al., 2022)	ET89, ET90, ET91, ET92, ET93, ET94	6

Na Figura 3.7, percebe-se que o critério mais frequente foi o de usabilidade isoladamente, com 56,3% (53 de 94) das ocorrências. Por exemplo, em Weerasinghe et al. (2022), a solução foi avaliada duas vezes por meio dos questionários de usabilidade NASA-TLX (ET90) e SUS (ET92) e uma vez por meio de dados registrados em teste de usabilidade (ET94). O critério de UX isoladamente teve uma frequência de 41,4% (39 de 94). Por exemplo, em Flick et al. (2021) a solução foi avaliada duas vezes por meio do questionário UEQ (ET30) e um elaborado pelos autores (ET34), e uma vez por meio de entrevista (ET35). Apenas duas soluções (Plasson et al., 2022; Bozgeyikli e Bozgeyikli, 2021) foram avaliadas por tecnologias de avaliação (ET24 e ET42 respectivamente) que tratavam ambos os critérios por meio de questionários elaborados pelos autores.

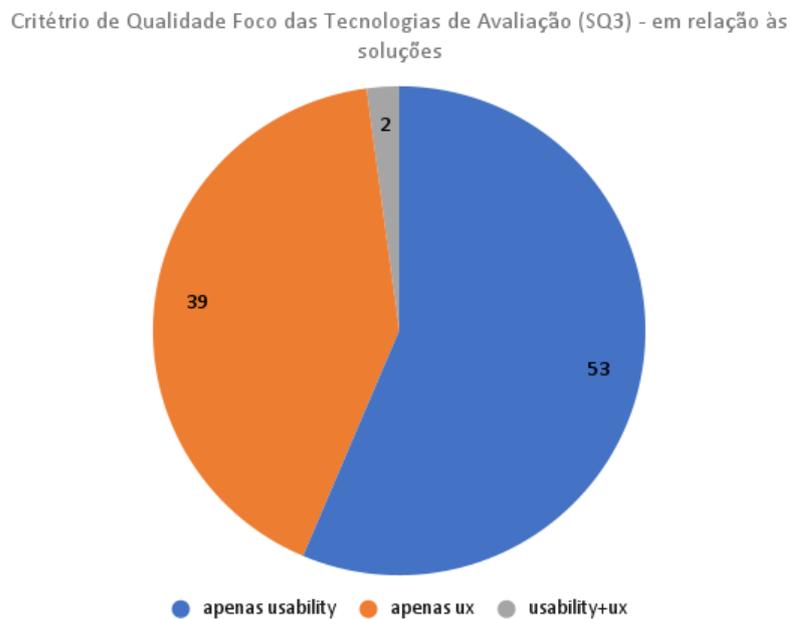


Figura 3.7: Critério de Qualidade (SQ3)

3.4.2 SQ4 - Tipo de Tecnologia de Avaliação

Em relação às tecnologias de avaliação de usabilidade (Figura 3.8), o método mais usado, conforme classificação de Ivory e Hearst (2001), foi o de investigação (63,6%, 35 de 55), sendo ele aplicado por meio de entrevistas, questionários ou meios relacionados. Por exemplo, em Flick et al. (2021), os autores aplicaram o questionário *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 1996) (ET31) para avaliar a solução. Em segundo lugar, tem-se o método de teste (36,6%, 20 de 55), quando o pesquisador observa a interação dos usuário com a holografia para determinar problemas de usabilidade. Por exemplo, em Zhao et al. (2023), um teste de usuário foi realizado e os dados gravados (ET04) para uma análise posterior. Em relação às tecnologias de avaliação de UX, conforme classificação de Roto et al. (2009), o único método usado foi de *survey*, no qual o *feedback* é coletado por meio de entrevistas ou questionários respondidos pelos usuários. Por

exemplo, em Qian et al. (2021), todas as avaliações foram do tipo *survey*, sendo dois questionários (ET60 e ET61) e uma entrevista (ET62).

Tipo de Tecnologia de Avaliação (SQ4) - para avaliações de usabilidade

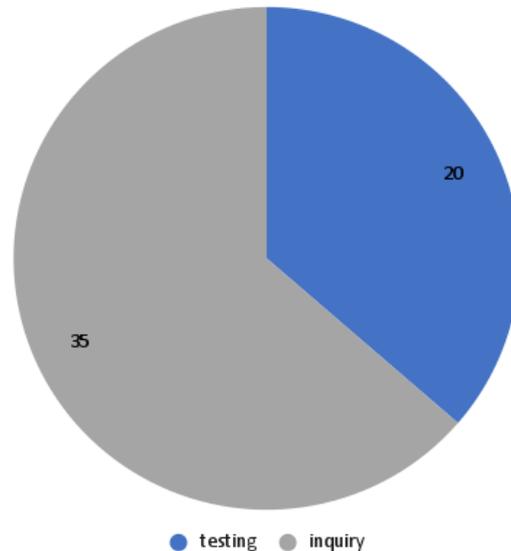


Figura 3.8: Tipo de Tecnologia de Avaliação (SQ4) - para avaliações de usabilidade

3.4.3 SQ5 - Aspectos Cobertos pela Tecnologia de Avaliação

Para identificar os aspectos de usabilidade ou UX abordados por uma tecnologia de avaliação, realizou-se um mapeamento ou reclassificação das métricas/aspectos mencionados na publicação original da tecnologia. A título de ilustração, os aspectos de UX (Figura 3.9) inicialmente designados como "*user experience in general*", "*overall experience*" e "*participant feedback*" foram reclassificados como *Generic UX*. Da mesma forma, aspectos rotulados como "*amusement*", "*enjoyment*", "*perceived enjoyment*" e "*perceived level of enjoyment*" por diferentes tecnologias de avaliação foram agrupados sob o termo *Pleasure/Fun* (Campos et al., 2023). Procurou-se manter os termos em língua inglesa para facilitar a relação com aspectos frequentemente encontrados ou referenciados na literatura. A tradução dos termos poderia ocasionar interpretações divergentes dos aspectos em questão.

Em relação aos aspectos de Usabilidade (Figura 3.10), os mais frequentes foram: *Effectiveness/Accuracy* (29 de 55, 52,73%), *Efficiency/Physical Effort* (24 de 55, 43,64%), *Efficiency/Mental Effort* (23 de 55, 41,82%). Já sobre os aspectos relacionados a UX, os mais frequentes foram: *Generic UX* (36 de 41, 87,8%) e *Usability* (18 de 41, 43,9%).

3.4.4 SQ6 - Relação com Tecnologia Existente

Em relação à tecnologia existente (Figura 3.11), das 94 tecnologias de avaliação aplicadas, 65,9% (62 de 94) não foram baseadas em nenhuma tecnologia conhecida, 29,7% (28

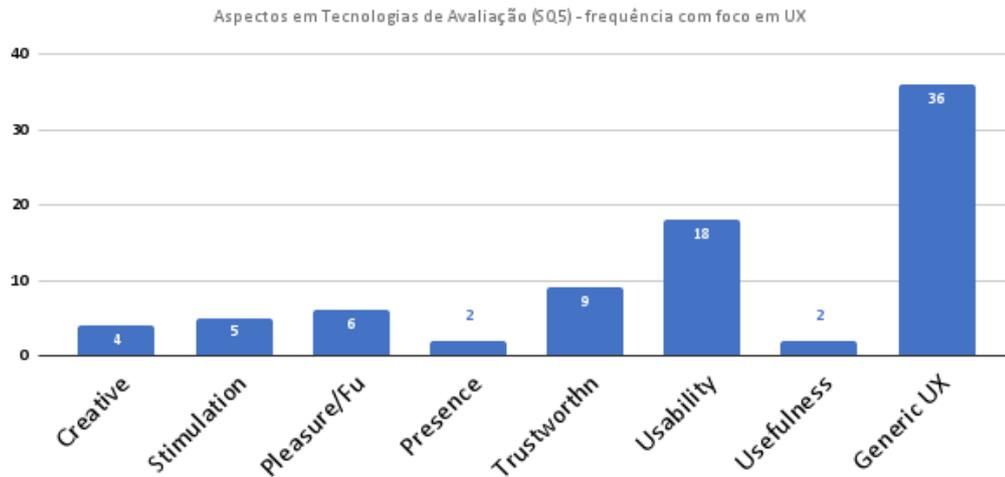


Figura 3.9: Aspectos em Tecnologias de Avaliação (SQ5) - frequência com foco em UX

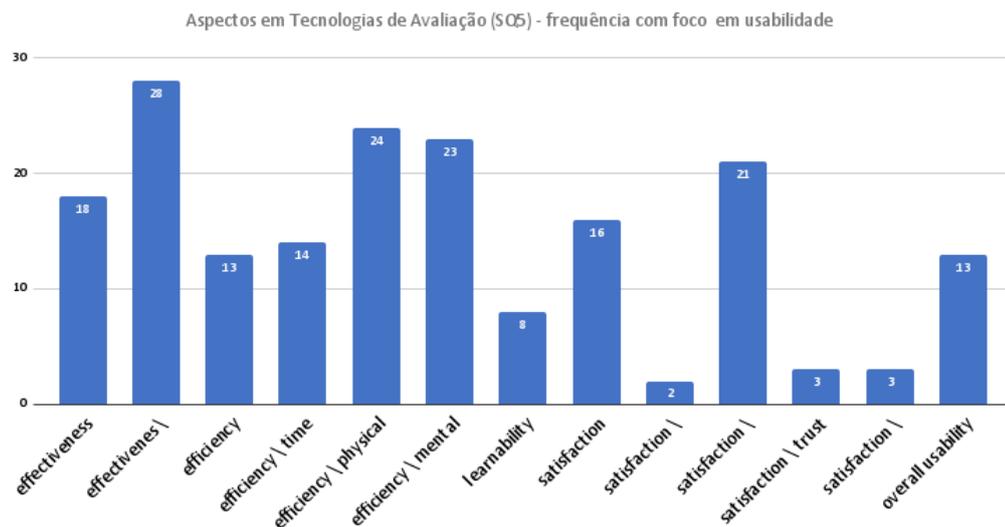


Figura 3.10: Aspectos em Tecnologias de Avaliação (SQ5) - frequência com foco em usabilidade

de 94) foram baseadas integralmente em uma tecnologia já existente e 4,25% (4 de 94) foram parcialmente baseadas em uma tecnologia já existente. Por exemplo, em Qian et al. (2021), a solução foi avaliada por quatro tecnologias de avaliação, sendo três elaboradas pelos autores e uma baseada integralmente em uma tecnologia já existente. As tecnologias elaboradas pelos autores consistiram em dois questionários em escala *Likert* e uma entrevista; e foi usado o *System Usability Scale (SUS)* (Brooke, 1996) na sua integralidade.

3.4.5 SQ7 - Avaliação Empírica da Tecnologia de Avaliação

Sobre a avaliação empírica da tecnologia, nenhuma das tecnologias de avaliação encontradas no MSL foi submetida a uma avaliação empírica, isto é, o objetivo dos estudos se limitaram a avaliar a SHT e não a tecnologia que avaliava aquela solução holográfica.

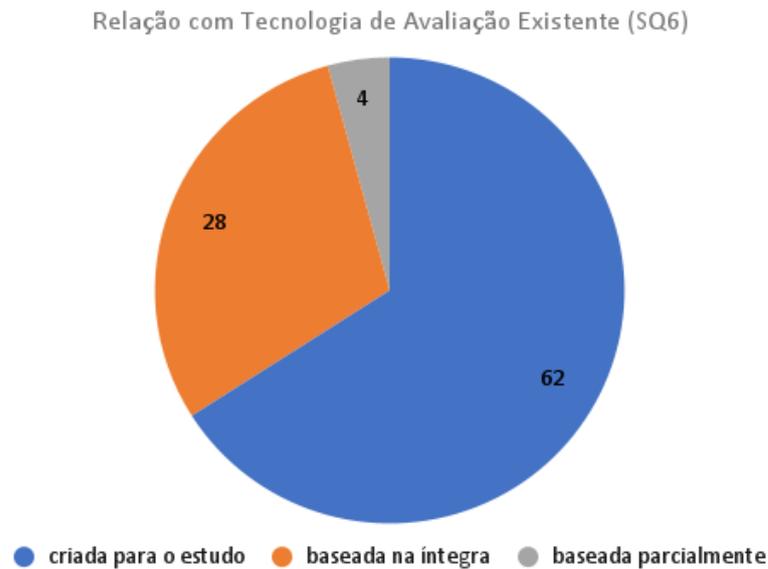


Figura 3.11: Relação com Tecnologia de Avaliação Existente (SQ6)

3.5 SUBQUESTÕES SOBRE AS SOLUÇÕES HOLOGRÁFICAS

Esta seção apresenta as subquestões relacionadas às soluções holográficas (Quadro 3.4).

3.5.1 SQ8 - Estudo Empírico

Todas as publicações apresentaram estudos empíricos realizados com as SHTs. Conforme classificação de Easterbrook et al. (2008), o método (SQ8.1) por experimento controlado foi o que mais se destacou (20 de 25, 80%) (Figura 3.12). Experimento controlado é a investigação de uma hipótese testável sobre a relação entre variáveis de causa-efeito de forma controlada (Easterbrook et al., 2008). Em Plasson et al. (2022), a solução holográfica foi submetida a três experimentos, sendo o primeiro e o terceiro estudos de caso e, o segundo um experimento controlado, para avaliar técnicas de seleção para estação de trabalho 3D com HMD e realidade aumentada. O método por estudo de caso foi usado por 24% das publicações (6 de 25). Este método costuma usar amostragem intencional ao invés de aleatória, selecionando casos mais relevantes para a proposta do estudo (Easterbrook et al., 2008). Este método foi usado, por exemplo, em Chien e Lin (2021), para estudar operações por gestos aplicadas ao contexto de desenvolvimento de jogos em realidade aumentada com HMD. Como meio de facilitar a classificação, em caso de falta de hipótese e variáveis de causa-efeito, as publicações foram classificadas como estudo de caso.

Em média, cada experimento teve a participação (SQ8.2) de 18 pessoas (Figura 3.13), sendo a maior, no estudo apresentado por Venkatakrishnan et al. (2023), que realizou um experimento controlado com 54 pessoas para avaliar como a representação das mãos por meio de um avatar influencia o desempenho da interação com objetos em tarefas que envolvem movimentos precisos em um ambiente AR.

Quadro 3.4: Resumo das subquestões relacionadas às soluções holográficas

Subquestão	Possíveis Respostas	Resultados (Publicações)
SQ8. A solução holográfica foi submetida a um estudo empírico?	Sim Não	25 100% 0 0%
SQ8.1. Qual o método empírico utilizado?	experimentos controlados estudo de caso	20 80% 6 24%
SQ8.2. Quantas pessoas participaram do estudo?	média mediana mín máx	18,4 – 15 – 4 – 54 –
SQ8.3. Qual foi o tipo de análise dos resultados do estudo?	quantitativa qualitativa ambos (quanti+quali)	8 32% 0 0% 17 68%
SQ9. Como a holografia foi denominada no estudo?	Sim, AR Sim, MR Não	23 92% 2 8% 0 0%
SQ10. De que modo a holografia é apresentada ao usuário?	por projecção em tela por fenômeno físico óptico	25 100% 0 0%
SQ11. Qual tipo de tecnologia usada para (re)produzir a holografia?	HMD	25 100%
SQ12. Qual tipo de tecnologia usada para detectar a interação (toque)?	câmera NiR externa câmera RGB-D embutida câmera RGB-D externa câmera RGB embutida câmera RGB externa	2 8% 23 92% 1 4% 0 0% 0 0%
SQ14. Quais os tipos/estilos de gestos com toque permitidos pela solução?	<i>pointing</i> <i>pantomimic</i> <i>manipulation</i>	25 100% 8 32% 1 4%
SQ-15. Qual a qualidade da imagem da projecção holográfica tocada pelo usuário?	WIMP Objeto 3D RAW Objeto 3D com iluminação, sombra ou textura	15 60% 9 36% 5 20%
SQ-16. Existe um feedback da ação de toque? Por qual meio?	Sim, visual Sim, ultrassônico (háptico) Sim, auditivo Não informado	23 92% 2 8% 8 32% 1 4%

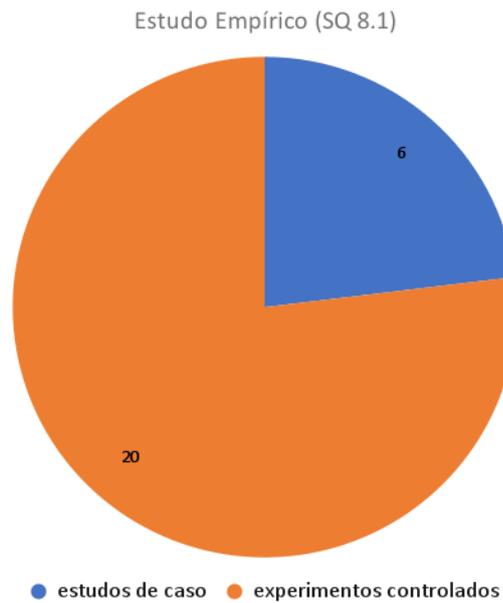


Figura 3.12: Estudo Empírico (SQ 8.1)

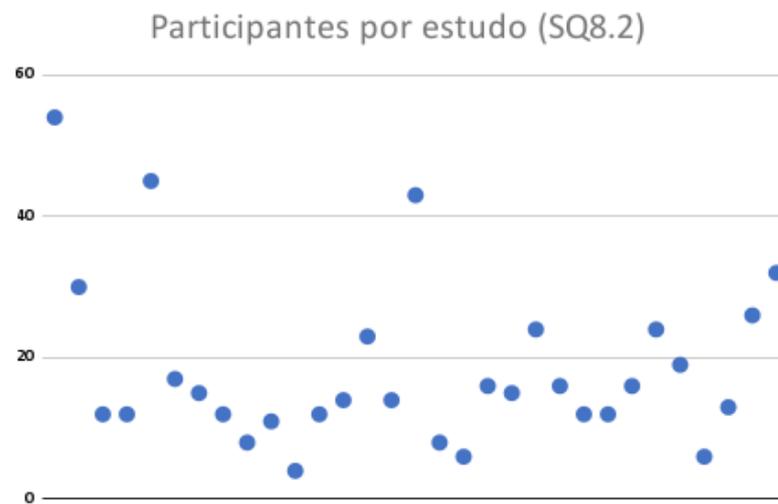


Figura 3.13: Participantes por estudo (SQ8.2)

Em relação à natureza da análise dos dados (SQ8.3), todas as publicações realizaram uma análise quantitativa e 68% (17 de 25) das publicações realizaram também uma análise qualitativa (Figura 3.14). Por exemplo, em Liu et al. (2022), uma análise quantitativa foi usada para comparar o desempenho e a usabilidade de diferentes técnicas de interação para uma plataforma de seleção de texto em AR. Não foi identificado nenhum estudo que realizou análise qualitativa isoladamente.

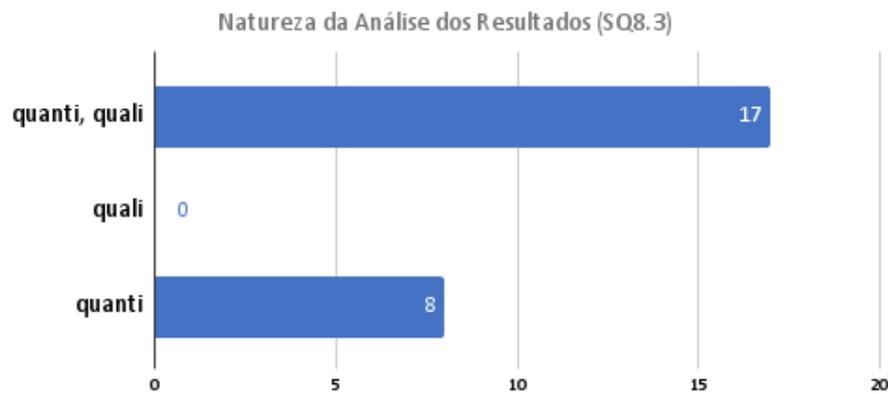


Figura 3.14: Natureza da Análise dos Resultados (SQ8.3)

3.5.2 SQ9 - Denominação dos Autores para Holografia

Conforme a Figura 3.15, 92% (23 de 25) das publicações denominaram a holografia como uma solução em ambiente de realidade aumentada e 8% (2 de 25) a denominaram como realidade misturada. Nas publicações que denominaram como realidade aumentada, o equipamento mais utilizado foi o MS Hololens™ (86,2%, 19 de 23). Por exemplo, em Qian et al. (2021), o MS Hololens™ foi usado na criação do GesturAR, uma ferramenta que permite criar aplicativos de AR com gestos livres. Nas duas publicações que denominaram a holografia como realidade misturada, foram usados o Magic Leap One (Bozgeyikli e Bozgeyikli, 2021) e o MS Hololens™ (Li et al., 2022).

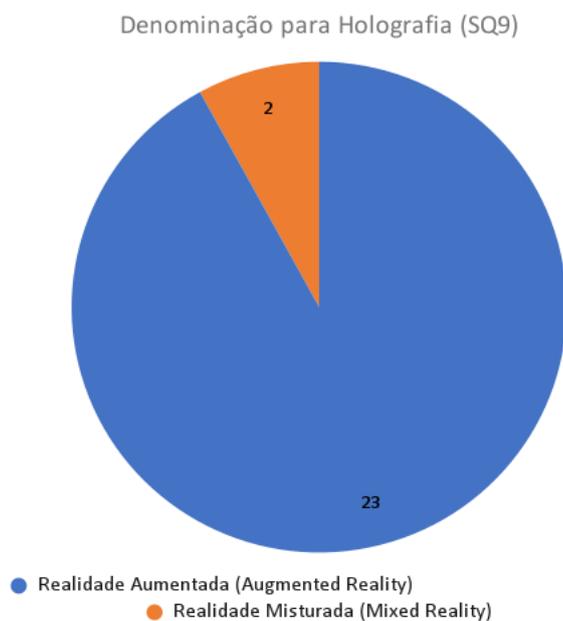


Figura 3.15: Denominação para Holografia (SQ9)

3.5.3 SQ10 - Modo para Apresentação da Holografia

Em relação ao modo de apresentação da holografia, todas as soluções (25) usaram projeção sobre uma tela (*display*). Por exemplo, em McCord et al. (2022), a solução usou o equipamento MS Hololens™ e em Bozgeyikli e Bozgeyikli (2021) foi usado o Magic Leap One. Estes equipamentos projetam a holografia em um display transparente. Já em Pei et al. (2022), foi usado o Oculus Quest, que é um equipamento que projeta em tela um vídeo com a holografia misturada com o ambiente real.

3.5.4 SQ11 - Tecnologia de Projeção Holográfica

Todas as soluções holográficas (25) usaram HMDs. Como exemplo, He et al. (2021) usaram HMD para realizar uma análise comparativa de modos interativos em realidade mista. Com relação aos fabricantes e modelos de equipamentos para projeção holográfica (SQ11.1), destacou-se o *MS Hololens™* (80%, 20 dos 25) (Figura 3.16). Em segundo, o *Magic Leap One™* apareceu em 12% das soluções (3 de 25) e em terceiro o *Oculus Quest™* (8%, 2 em 25) (Bozgeyikli e Bozgeyikli, 2021) (Pei et al., 2022). Com apenas uma ocorrência, Chien e Lin (2021) fez uso de um kit do *Project North Star*¹, que é uma especificação aberta para construção livre de um equipamento do tipo HMD usando componentes de baixo custo.

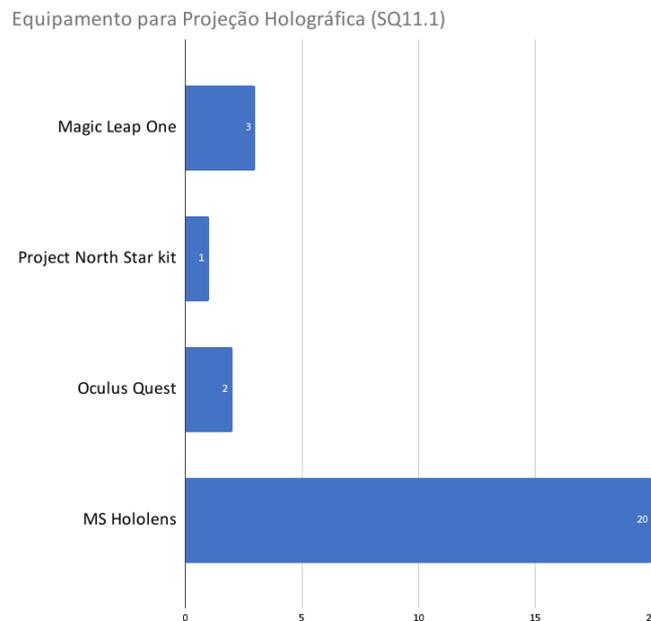


Figura 3.16: Equipamento para Projeção Holográfica (SQ11.1)

¹<https://docs.projectnorthstar.org/project-north-star/>

3.5.5 SQ12 - Tecnologia para Detecção do Toque

Em relação à tecnologia para detecção de toque (Figura 3.17), a câmera de profundidade RGB-D embutida foi a mais usada entre as soluções (92%, 23 de 25), uma vez que, a maioria dos HMDs usados nas soluções contam com esse recurso. Contudo, 8% (2 de 25) das soluções fizeram uso de uma câmera NIR externa, como em Chien e Lin (2021), na qual a projeção e detecção da interação na solução holográfica se dava por uma câmera deste tipo, componente integrante do *Project North Star*. Outra solução combinou uma câmera RGB-D externa com uma câmera NIR externa (Qian et al., 2022).

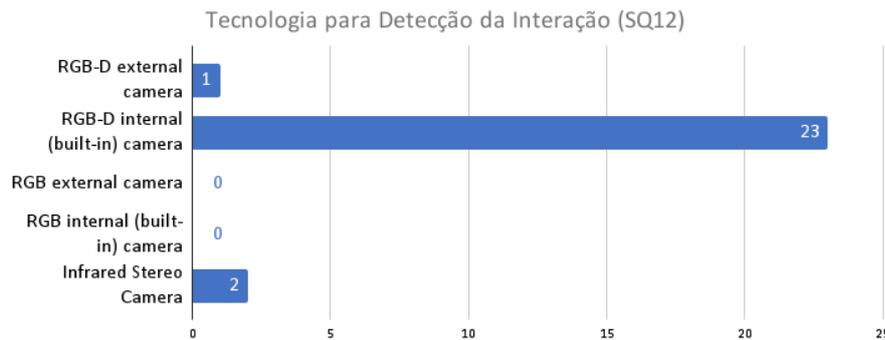


Figura 3.17: Tecnologia para Detecção da Interação (SQ12)

Com relação à identificação dos fabricantes e modelos dos equipamentos de detecção da Interação (SQ12.1), conforme a Figura 3.18, o equipamento de maior destaque foi o *MS Hololens™* (80%, 20 de 25) como visto em Venkatakrishnan et al. (2023). Em segundo lugar (12%, 3 de 25) temos o *Magic Leap One™*, usado por exemplo em Serrano et al. (2022). As demais soluções usaram outros equipamentos, como o *Leap Motion Controller* (2x), *Oculus Quest* (1x) e *ZED Dual AMP* (1x). Algumas soluções combinaram o uso de equipamentos para detecção, como em Qian et al. (2022), que usou *Leap Motion Controller* e *ZED Dual AMP*.

3.5.6 SQ13 - Finalidade da Solução Holográfica

Nesta questão, observou-se em qual finalidade específica a solução holográfica se encaixava (Figura 3.19). Com base nisso, 32% (8 de 25) das soluções foi criada para investigar a própria interação do usuário e suas características. Em Serrano et al. (2022), o objetivo do experimento é analisar o uso de interação natural por meio das mãos em AR para verificar se existem diferenças estatisticamente significativas no uso da interação por meio das mãos para duas tarefas distintas. Duas soluções (8%, 2 de 25) foram criadas para servir de entrada de dados em forma de teclado virtual em um ambiente de AR/MR (Zhao et al., 2023; Shen et al., 2022). Outras duas soluções (8%, 2 de 25) foram criadas para estudar técnicas de seleção em ambientes AR/MR (Plasson et al., 2022; Uzor e Kristensson, 2022). Em Uzor e Kristensson (2022), foram estudadas técnicas de seleção para estação de trabalho 3D em ambiente AR. As demais soluções

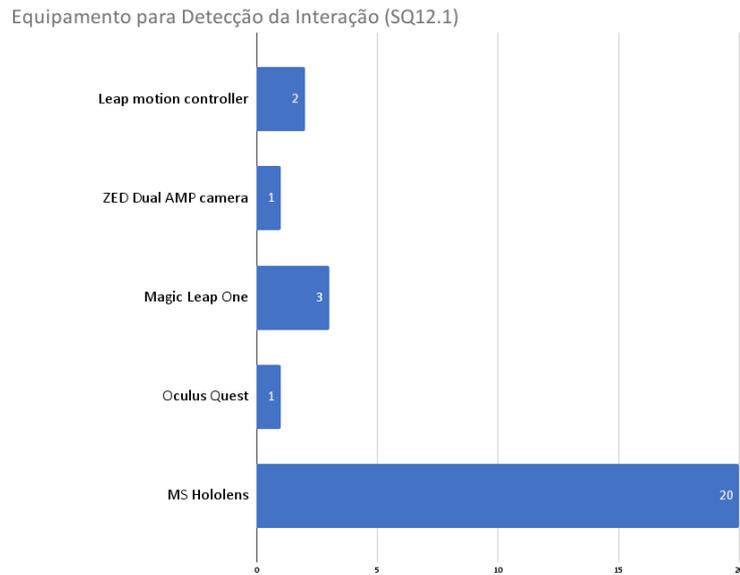


Figura 3.18: Equipamento para Detecção da Interação (SQ12.1)

tiveram propósitos diversos, como edição de texto (Hu et al., 2022), desenvolvimento de jogos (Chien e Lin, 2021), manipulação de dados (Jang et al., 2022), entre outros.

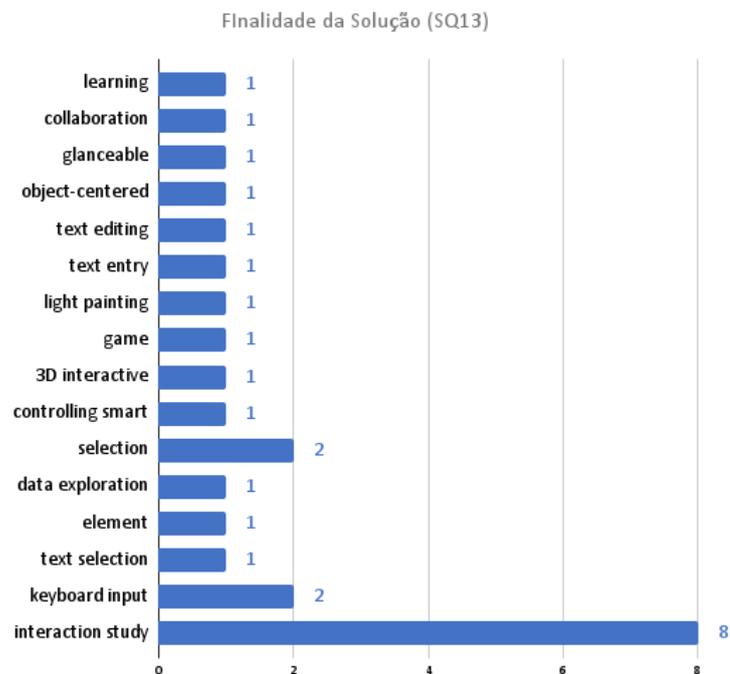


Figura 3.19: Finalidade da Solução (SQ13)

3.5.7 SQ14 - Tipos/Estilos de Gestos

Com relação a classificação dos tipos de gestos, conforme Aigner et al. (2012), os tipos icônico e semafórico, não foram considerados porque ambos não representam gestos nos

quais o usuário encosta (toca) em um objeto. Por isso, foram considerados apenas os estilos de apontamento, pantomímica e manipulação. O apontamento é empregado para indicar objetos e direção, não se limitando ao dedo indicador esticado, podendo envolver vários dedos. A pantomímica, por sua vez, refere-se a gestos que representam tarefas específicas, utilizando movimentos e posturas das mãos. Por fim, a manipulação consiste em gestos que envolvem ações como o zoom e o esticar de um objeto. Sendo possível que uma solução apresentasse mais de um tipo de gesto. Todas as soluções (25) apresentaram o tipo de gesto de apontamento, 32% (8 de 25) das soluções apresentaram tipo de gesto pantomímico e apenas uma solução apresentou o tipo de gesto de manipulação (Uzor e Kristensson, 2022). Sendo esta a única solução a combinar os três tipos de gestos (apontamento, pantomímica e manipulação) para avaliar a exploração de seleção livre com a mão em AR utilizando HMD (Figura 3.20).

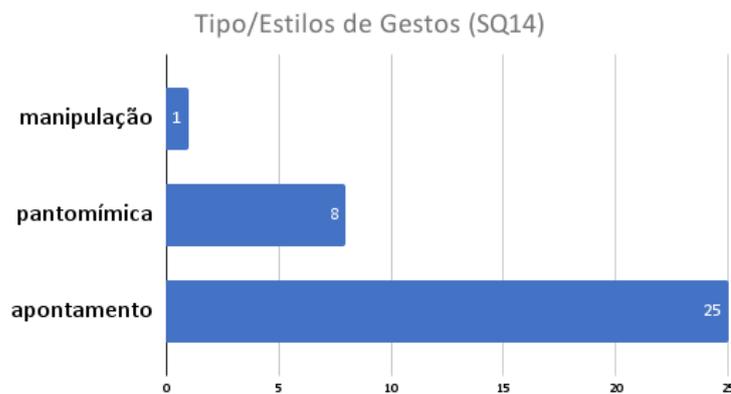


Figura 3.20: Tipo/Estilos de Gestos (SQ14)

3.5.8 SQ15 - Qualidade da Imagem Holográfica

Por meio das imagens vinculadas nas publicações, observamos como a holografia era apresentada ao usuário (Figura 3.21). Interfaces estilo *Window-Icon-Menu-Pointing* (WIMP) apareceram com mais frequência (60%, 15 de 25). Objetos 3D cru, apareceram em segundo lugar, com 36% (9 de 25). Objetos 3D próximo ao real (com iluminação, sombra ou textura), tiveram frequência de 20% (5 de 25) das soluções. Em Weerasinghe et al. (2022) apresentou uma combinação entre WIMP e objetos crus para tradução de texto de objetos e suas representações. Já em Serrano et al. (2022), o estudo apresentou uma análise sobre a interação natural com objetos 3D com textura para verificar se existem diferenças estatisticamente significativas no uso da interação por meio das mãos para duas tarefas distintas.

3.5.9 SQ16 - Presença de Feedback

Com exceção de He et al. (2021), que não apresentou detalhes sobre o tipo de feedback ao toque, nas demais soluções (96%, 24 de 25) foi possível identificar o tipo de feedback por meio das imagens e do texto da publicação (Figura 3.22). Em 92% (23 de 25) das soluções foi

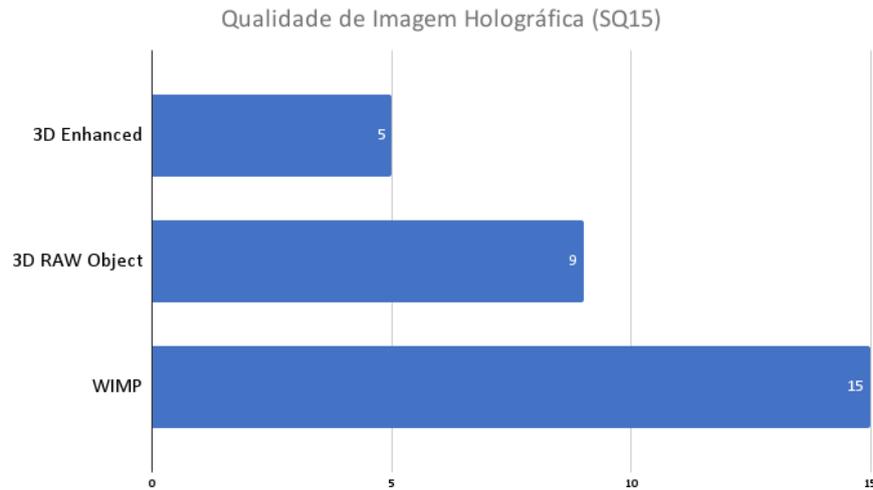


Figura 3.21: Qualidade de Imagem Holográfica (SQ15)

identificado um feedback visual, sendo 8 (32%) destas uma combinação entre feedback visual e auditivo, como em Weerasinghe et al. (2022), em que a solução oferece um feedback visual ao manipular os objetos 3D e ao manipular botões de uma interface WIMP. Além disso, também oferece um feedback auditivo para ouvir a palavra que o usuário deseja traduzir. Esses elementos são combinados para apresentar uma solução de tradução e ensino de idiomas. Duas soluções (8%) apresentam feedback háptico, sendo que uma delas combinou feedback visual e háptico (Pei et al., 2022) e outra solução apresentou apenas feedback háptico (Jang et al., 2022).

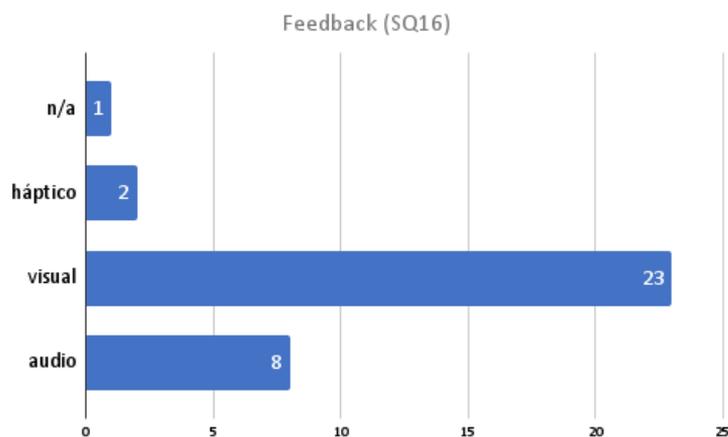


Figura 3.22: Feedback (SQ16)

3.6 DISCUSSÃO

A análise comparativa entre os dois MSL (o de Campos et al. (2023) e a extensão desse MSL apresentada nesse trabalho) revela uma evolução notável em várias subquestões. Em termos do número de publicações por ano, observa-se que houve uma queda em 2021 (Figura 3.23)

seguida por um salto significativo em 2022 (Figura 3.2). No entanto, ao examinar os locais de publicação e os países envolvidos, constata-se que o padrão de dominância no hemisfério norte permanece inalterado (Figura 3.3). No que diz respeito às subquestões relacionadas às publicações, fica evidente que, na SQ1, a pesquisa de validação continua sendo predominante. Por outro lado, na SQ2, observa-se uma proporção maior de artigos de engenharia em comparação com o MSL anterior (Figura 3.24), de 27,5% para 40%, incluindo um artigo relevante no contexto da medicina (Figura 3.6).



Figura 3.23: Publicações por Ano (Campos et al., 2023).

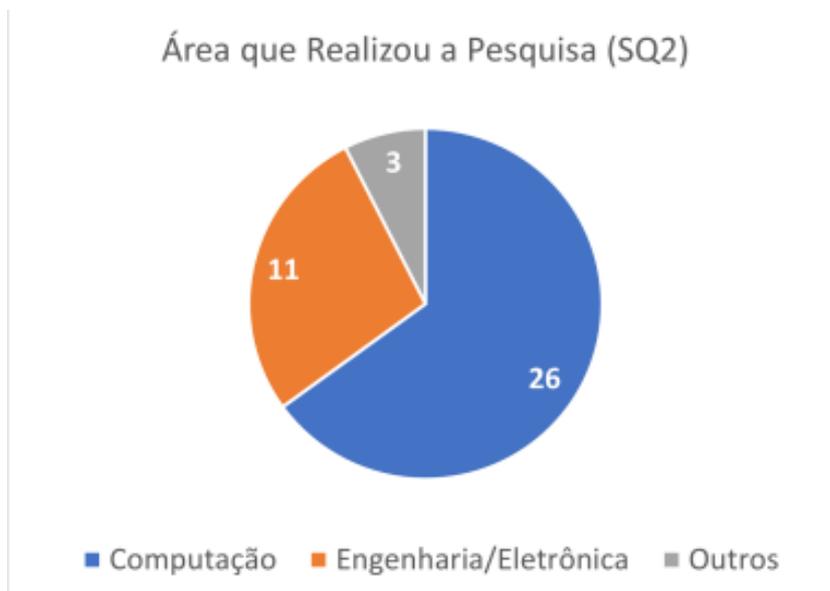


Figura 3.24: Área que Realizou a Pesquisa (SQ2) (Campos et al., 2023)

No que diz respeito às subquestões relacionadas às tecnologias de avaliação, destaca-se um aumento significativo de 18% para 41% nos critérios relacionados à UX na SQ3 (Figura 3.7). Na SQ4, observa-se um padrão consistente em relação às escolhas de tipos de tecnologia, tanto para os critérios de usabilidade quanto de UX (Figura 3.8). Na SQ6, a proporção entre tecnologias

baseadas integralmente, parcialmente ou desenvolvidas pelo autor permaneceu relativamente constante. Já na SQ7, o padrão persiste, destacando a ausência de uma avaliação empírica das tecnologias de avaliação.

Sobre as subquestões relacionadas às soluções holográficas, são perceptíveis algumas diferenças na SQ8. A proporção de estudos controlados em relação ao total de publicações apresentou um leve aumento de 65% para 77%. O número de participantes permaneceu constante e a proporção de análises qualitativas teve um aumento de 40% para 68%. Na SQ9, é evidente a consolidação de um padrão de nomenclatura para a holografia. No MSL de Campos et al. (2023), 72,5% das publicações optaram pela denominação AR, enquanto no MSL atual, esse percentual aumentou para expressivos 92%. Quanto à SQ10, observa-se que a preferência pelo método de projeção sobre tela (*display*) manteve-se constante.

Na SQ11, observa-se uma das discrepâncias mais notáveis entre os MSLs. No MSL de Campos et al. (2023), identificou-se o uso de 16 equipamentos para projeção holográfica, ao passo que no MSL atual, esse número foi significativamente reduzido para apenas 4, sendo todos eles HMDs (antes apenas 57% eram HMDs). Essa drástica diminuição é atribuída ao surgimento e à popularização de dispositivos que integram todas as funcionalidades necessárias em um único aparelho, eliminando a necessidade de combinação de vários dispositivos distintos. Em relação aos tipos de gestos, na SQ14 é interessante notar uma diminuição nas publicações que abordam o tipo de gesto "manipulação", comparando com o MSL de Campos et al. (2023). Na SQ15, foi mantido um padrão constante em relação à qualidade da imagem holográfica, com a predominância do modelo WIMP. Já na SQ16, observa-se um leve aumento no feedback auditivo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abordou o planejamento e execução de um MSL para identificar e caracterizar as informações contidas em cada artigo sobre as publicações, as tecnologias de avaliação e as soluções holográficas tocáveis. O MSL teve início com a seleção de 1878 artigos provenientes de três bibliotecas digitais. Os artigos passaram por duas etapas de filtro que resultou em 25 artigos selecionados para extração de dados, identificando 94 aplicações de tecnologias de avaliação.

Os resultados obtidos das extrações foram comparados com os resultados obtidos no MSL anterior. A partir dessa análise foi possível identificar a evolução e as principais tendências nos padrões de escolha relacionados às soluções holográficas tocáveis. Foram observados avanços significativos na utilização de equipamentos mais avançados em comparação ao MSL anterior. Destacam-se, por exemplo, os HMDs, que incorporam recursos avançados, como projeção de holografia e detecção de interação. Em relação às tecnologias de avaliação, "Eficácia" foi o critério mais frequente para avaliação da usabilidade, enquanto "UX Geral" foi o mais frequente para a UX.

Este estudo fornece uma base sólida para direcionar futuras pesquisas que busquem expandir ainda mais o conhecimento e a aplicação das soluções holográficas tocáveis. A avaliação contínua das experiências do usuário e a busca por métodos de avaliação mais refinados permanecerão como aspectos-chave para aprimorar a utilidade e a aceitação dessas inovações na prática. Para trabalhos futuros, este estudo pode servir de base para um próximo mapeamento, para que a comparação de dados evidencie as mudanças ao longo do tempo no campo das soluções holográficas tocáveis.

REFERÊNCIAS

- Aigner, R., Wigdor, D., Benko, H., Haller, M., Lindbauer, D., Ion, A., Zhao, S. e Koh, J. T. K. V. (2012). Understanding mid-air hand gestures: A study of human preferences in usage of gesture types for hci. Relatório Técnico MSR-TR-2012-111, Microsoft Research.
- Basili, V. R., Caldiera, G. e Rombach, H. D. (1994). The goal question metric approach.
- Bozgeyikli, E. e Bozgeyikli, L. (2021). Evaluating object manipulation interaction techniques in mixed reality: Tangible user interfaces and gesture. Em *Proceedings - 2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2021*, páginas 778–787, Virtual, Lisboa; Portugal.
- Brooke, J. (1996). SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. *Usability Evaluation In Industry*, páginas 207–212.
- Campos, T. P. d., Damasceno, E. F. e Valentim, N. M. C. (2023). Usability and user experience evaluation of touchable holographic solutions: A systematic mapping study. Em *IHC '23: 22nd Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, página 13, Maceió, Brazil. ACM.
- Chien, P.-H. e Lin, Y.-C. (2021). Gesture-based head-mounted augmented reality game development using leap motion and usability evaluation. Em *15th International Conference on Interfaces and Human Computer Interaction, IHCI 2021 and 14th International Conference on Game and Entertainment Technologies, GET 2021 - Held at the 15th Multi-Conference on Computer Science and Information Systems, MCCSIS 2021*, páginas 149–156, Virtual, Online.
- Daskalogrigorakis, G., McNamara, A., Marinakis, A., Antoniadis, A. e Mania, K. (2022). Glance-box: Multi-lod glanceable interfaces for machine shop guidance in augmented reality using blink and hand interaction. Em *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*.
- Easterbrook, S., Singer, J., Storey, M.-A. e Damian, D. (2008). Selecting empirical methods for software engineering research. páginas 285–311.
- Fast-Berglund, A., Gong, L. e Li, D. (2018). Testing and validating extended reality (xr) technologies in manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 25:31–38.
- Fleiss, J. L. (1971). Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin*, 76(5):378–382.

- Flick, C., Harris, C., Yonkers, N., Norouzi, N., Erickson, A., Choudhary, Z., Gottsacker, M., Bruder, G. e Welch, G. (2021). Trade-offs in augmented reality user interfaces for controlling a smart environment. Em *Proceedings - SUI 2021: ACM Spatial User Interaction 2021*, Virtual, Online; United States.
- Hassenzahl, M. (2011). User experience and experience design.
- He, Y., Hu, Y., Feng, H., Li, C. e Shen, X. (2021). Comparative analysis of 3d interactive modes in different object layouts in mixed reality. Em *ACM International Conference Proceeding Series*, páginas 120–126, Virtual, Online; Hong Kong.
- Hu, J., Dudley, J. J. e Kristensson, P. O. (2022). An evaluation of caret navigation methods for text editing in augmented reality. Em *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*.
- Ivory, M. Y. e Hearst, M. A. (2001). The state of the art in automating usability evaluation of user interfaces. *ACM Computing Surveys*, 33(4):470–516.
- Jang, J., Frier, W. e Park, J. (2022). Multimodal volume data exploration through mid-air haptics. Em *Proceedings - 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2022*, páginas 243–251, Singapore; Singapore.
- Kitchenham, B. A., Budgen, D. e Brereton, P. (2016). *Evidence-based software engineering and systematic reviews*, volume 4. CRC press.
- Li, Y., Hu, Y., Wang, Z. e Shen, X. (2022). Evaluating the object-centered user interface in head-worn mixed reality environment. Em *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*.
- Liu, X., Meng, X., Spittle, B., Xu, W., Gao, B. e Liang, H.-N. (2022). Exploring text selection in augmented reality systems. Em *Proceedings - VRCAI 2022: 18th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry*, Virtual, Online; China.
- Lystbæk, M. N., Pfeuffer, K., Grønbæk, J. E. S. e Gellersen, H. (2022a). Exploring gaze for assisting freehand selection-based text entry in ar. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 6:1–16.
- Lystbæk, M. N., Rosenberg, P., Pfeuffer, K., Grønbæk, J. E. e Gellersen, H. (2022b). Gaze-hand alignment: Combining eye gaze and mid-air pointing for interacting with menus in augmented reality. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 6:1–18.
- Mathieu, E., Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Appel, C., Giattino, C., Hasell, J., Macdonald, B., Dattani, S., Beltekian, D., Ortiz-Ospina, E. e Roser, M. (2020). Coronavirus pandemic (covid-19). *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

- McCord, K., Ayer, S., Perry, L., Patil, K., London, J., Khoury, V. e Wu, W. (2022). Student approaches and performance in element sequencing tasks using 2d and augmented reality formats. *Education Sciences*, 12(4).
- Nielsen, J. (2012). *Usability 101: Introduction to Usability*.
- Norman, D. e Nielsen, J. (2017). The definition of user experience (ux).
- Pei, S., Chen, A., Lee, J. e Zhang, Y. (2022). Hand interfaces: Using hands to imitate objects in ar/vr for expressive interactions. Em *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Virtual, Online; United States.
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S. e Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering.
- Plasson, C., Blanch, R. e Nigay, L. (2022). Selection techniques for 3d extended desktop workstation with ar hmd. Em *Proceedings - 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2022*, páginas 460–469, Singapore; Singapore.
- Qian, X., He, F., Hu, X., Cao, Y., Ramani, K. e Wang, T. (2021). Gesturar: An authoring system for creating freehand interactive augmented reality applications. Em *UIST '21: The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, páginas 552–567.
- Qian, X., He, F., Hu, X., Wang, T. e Ramani, K. (2022). Arannotate: An augmented reality interface for collecting custom dataset of 3d hand-object interaction pose estimation. Em *UIST '22: Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, páginas 1–14.
- Rauschnabel, P. A., Felix, R., Hinsch, C., Shahab, H. e Alt, F. (2022). What is xr? towards a framework for augmented and virtual reality. *Computers in Human Behavior*, 133:107289.
- Roto, V., Obrist, M. e Väänänen-vainio Mattila, K. (2009). User experience evaluation methods in academic and industrial contexts. Em *Proceedings of the Workshop UXEM'09*, Uppsala, Sweden.
- Santos, G., Rocha, A. R., Conte, T., Barcellos, M. P. e Prikladnicki, R. (2012). Strategic alignment between academy and industry: A virtuous cycle to promote innovation in technology. página 196–200.
- Serrano, R., Morillo, P., Casas, S. e Cruz-Neira, C. (2022). An empirical evaluation of two natural hand interaction systems in augmented reality. *Multimedia Tools and Applications*, 81(22):31657–31683.

- Shen, J., Hu, J., Dudley, J. e Kristensson, P. (2022). Personalization of a mid-air gesture keyboard using multi-objective bayesian optimization. Em *Proceedings - 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2022*, páginas 702–710, Singapore; Singapore.
- Uzor, S. e Kristensson, P. O. (2022). An exploration of freehand crossing selection in head-mounted augmented reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 28:1–27.
- Venkatakrishnan, R., Venkatakrishnan, R., Raveendranath, B., Pagano, C., Robb, A., Lin, W.-C. e Babu, S. (2023). Give me a hand: Improving the effectiveness of near-field augmented reality interactions by avatarizing users' end effectors. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29(5):2412–2422.
- Wang, G., Ren, G., Hong, X., Peng, X., Li, W. e O'Neill, E. (2022). Freehand gestural selection with haptic feedback in wearable optical see-through augmented reality. *Information (Switzerland)*, 13(12).
- Wang, T., Qian, X., He, F. e Ramani, K. (2021). Lightpaintar: Assist light painting photography with augmented reality. Em *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, páginas 1–6, Virtual, Online.
- Weerasinghe, M., Biener, V., Grubert, J., Quigley, A., Toniolo, A., Pucihar, K. e Kljun, M. (2022). Vocabulary: Learning vocabulary in ar supported by keyword visualisations. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28:3748–3758.
- Wieringa, R., Maiden, N., Mead, N. e Rolland, C. (2006). Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion. *Requirements Engineering*, 11(1):102–107.
- Yu, K., Eck, U., Pankratz, F., Lazarovici, M., Wilhelm, D. e Navab, N. (2022). Duplicated reality for co-located augmented reality collaboration. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28:2190–2200.
- Zacharovas, S. e Saxby, G. (2015). *Practical Holography*. CRC Press, 4th edition.
- Zhao, C., Li, K. e Peng, L. (2023). Movement time for pointing tasks in real and augmented reality environments. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(2).