

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Computação**



Dissertação

**Perspectivas de Uso de Métodos de Avaliação por Usabilidade e UX no Domínio  
da AR Sandbox**

**Natália Toralles Darley**

Pelotas, 2021

**Natália Toralles Darley**

**Perspectivas de Uso de Métodos de Avaliação por Usabilidade e UX no Domínio da AR Sandbox**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tatiana Aires Tavares

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

D221p Darley, Natália Toralles

Perspectivas de uso de métodos de avaliação por usabilidade e UX no domínio da ar Sandbox / Natália Toralles Darley ; Tatiana Aires Tavares, orientador. — Pelotas, 2021.

95 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Interface tangível de usuário. 2. Avaliação de interface tangível. 3. Usabilidade. 4. Experiência de usuário. I. Tavares, Tatiana Aires, orient. II. Título.

CDD : 005

**Natália Toralles Darley**

**Perspectivas de Uso de Métodos de Avaliação por Usabilidade e UX no Domínio da AR Sandbox**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação, Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

**Data da Defesa:** 18 de Agosto de 2021

**Banca Examinadora:**

Profa. Dra. Tatiana Aires Tavares (orientadora)

Doutor em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Profa. Dra. Andréia Sias Rodrigues.

Doutora em Computação pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dr. Tiago Thompsen Primo

Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço a minha orientadora Tatiana Aires Tavares por mais uma oportunidade de trabalhar com o tema, permitir que aprofundássemos mais nesta área e no desenvolvimento deste trabalho.*

*Agradeço aos meus colegas Vinícius Costa e Lucas Agostini pela companhia e parceria de sempre, presentes na sala de aula, nas escritas de artigos e contribuições deste projeto.*

*Agradeço à banca examinadora Andréia Sias e Tiago Primo por aceitarem o convite em participar e pelas ricas considerações.*

*Agradeço a minha família e amigos, pelo apoio e incentivo na busca constante de conhecimento.*

*A man provided with paper, pencil, and rubber,  
and subject to strict discipline,  
is in effect a universal machine*  
— ALAN TURING

## RESUMO

DARLEY, Natália Toralles. **Perspectivas de Uso de Métodos de Avaliação por Usabilidade e UX no Domínio da AR Sandbox**. Orientador: Tatiana Aires Tavares. 2021. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

A forma com que o usuário interage com o mundo digital está se tornando cada vez mais natural e imersiva, como as Interfaces Tangíveis de Usuário, que permitem que usuários manipulem elementos digitais através de gestos corporais. Tal forma de interação aborda novos requisitos a serem levantados quando se pretende desenvolver interfaces deste tipo. Elementos físicos de interação, espaço de uso e atividades colaborativas são características que as Interfaces Tangíveis se diferenciam das interfaces comuns, como as gráficas, por exemplo. Entretanto, os métodos de avaliação estão adequados para avaliar interfaces tangíveis uma vez que não consideram suas características. Este trabalho propõe evidenciar que as metodologias de avaliação de interfaces conhecidas não são adequadas para serem aplicadas às Interfaces Tangíveis de Usuário, o para isto é feito um levantamento das metodologias de avaliação de Usabilidade e Experiência de Usuário (UX) através da investigação de requisitos de avaliações do AR Sandbox, uma aplicação para aprendizado de topografia em mapa tangível.

Palavras-chave: Interface Tangível de Usuário. Avaliação de Interface Tangível. Usabilidade. Experiência de Usuário.

## ABSTRACT

DARLEY, Natália Toralles. **Perspectives from the Usege of Usability and UX Evaluation Methods in the AR Sandbox Domain.** Advisor: Tatiana Aires Tavares. 2021. 95 f. Dissertation (Masters in Computer Science) – Technology Development Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2021.

The way in which the user interacts with the digital world is becoming increasingly natural and immersive, such as Tangible User Interfaces, which allow users to manipulate digital elements through body gestures. Such interaction form addresses new requirements to be raised when it is intended to develop interfaces of this type. Physical elements of interaction, space of use and collaborative activities are characteristics that Tangible Interfaces differ from common interfaces, such as graphical ones. However, there are no adequate evaluation methods for evaluating tangible interfaces and considering their characteristics. This work proposes to show that the evaluation methodologies of known interfaces are not suitable to be applied to the Tangible User Interfaces, for this purpose a survey of the evaluation methodologies of Usability and User Experience (UX) through the investigation of requirements of reviews of AR Sandbox, an application for learning topography on a tangible map.

Keywords: Tangible User Interface. Tangible User Evaluation. Usability. User Experience.

## LISTA DE FIGURAS

1	Aplicação AR Sandbox na UFPel. . . . .	16
2	Projeto AR Sandbox na Universidade do Alasca. . . . .	17
3	Instituições no mundo e no Brasil que utilizam o AR Sandbox. . . .	18
4	Modelo de processo para UX Research. . . . .	21
5	Funcionamento de uma interface. . . . .	21
6	Interface gráfica do Linux Mint 20 e do iOS 14. . . . .	22
7	Oculus Rift desenvolvido pela Oculus VR (a) e Pokemon GO, jogo de realidade aumentada (b). . . . .	23
8	Interação de usuário com interface tangível. . . . .	24
9	Representação de Radical Atoms. . . . .	25
10	Aspectos a serem avaliados em interfaces. . . . .	28
11	Escala de UEQ. . . . .	32
12	Relação das dimensões em avaliação de UX. . . . .	33
13	Modelo de avaliação MOS tipo I. . . . .	35
14	Modelo de avaliação MOS tipo Q. . . . .	36
15	Nuvem de <i>tags</i> com as palavras mais recorrentes nos títulos dos artigos finais selecionados. . . . .	40
16	Abordagens de avaliação utilizadas nos artigos selecionados . . . .	41
17	Abordagens de avaliação vs. Instrumentos de avaliação apresentados nos artigos selecionados . . . . .	43
18	Público alvo das aplicações TUI nos artigos referenciados na RSL e que participaram do processo de avaliação. . . . .	45
19	Domínio da aplicação das TUIs em Museus/Exibições . . . . .	49
20	Temática da Exposição/Museu . . . . .	51
21	Público-alvo da TUI em Museus . . . . .	52
22	Usuários testando aplicação no primeiro experimento. . . . .	56
23	Resultados da avaliação de usabilidade. . . . .	57
24	Resultados da avaliação dos campos de usabilidade. . . . .	58
25	Resultados da avaliação por UX. . . . .	60
26	Resultados da avaliação dos campos de UX. . . . .	61
27	Usuários testando aplicação no segundo experimento. . . . .	62
28	Resultados da avaliação por MOS . . . . .	64

## LISTA DE TABELAS

1	Distribuição dos artigos encontrados em cada MBA . . . . .	39
2	Instrumentos/ferramentas de avaliação utilizadas nos artigos selecionados . . . . .	43
3	Adaptação do questionário de Usabilidade do AttrackDiff. . . . .	54
4	Adaptação do questionário de UX do AttrackDiff . . . . .	55
5	Adaptação do questionário de avaliação MOS . . . . .	62

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IHC	Interação Humano-Computador
GUI	Graphical User Interface
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
TUI	Tangible User Interface
UX	User Experience
QP	Qualidade Pragmática
QH-I	Qualidade Hedônica - Identidade
QH-E	Qualidade Hedônica - Estímulo
ATT	Atratividade

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
1.1	Antecedentes	15
1.2	Motivação	17
1.3	Objetivo	18
1.4	Organização da Dissertação	19
<b>2</b>	<b>PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE INTERFACES DE USUÁRIO</b>	20
2.1	Compreendendo o objeto: a interface de usuário	21
2.1.1	As especificidades das TUIs	25
2.2	Entendendo o processo de avaliação e seus aspectos	27
2.2.1	Usabilidade	29
2.2.2	Experiência de Usuário	30
2.3	Utilizando instrumentos de avaliação	31
2.3.1	AttrakDiff: Avaliação de Produtos Interativos	32
2.3.2	MOS: Mean Opinion Score	34
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE: UMA REVISÃO DE LITERATURA</b>	37
3.1	Primeira RSL: Metodologias de avaliação para TUI	38
3.1.1	Resultados	39
3.1.2	Discussão dos resultados	46
3.2	Segunda RSL: TUI em Museus	48
3.2.1	Resultados	49
3.2.2	Discussão dos resultados	51
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS</b>	53
4.1	Avaliação do AR Sandbox com AttrackDiff	53
4.1.1	Adaptações dos questionários AttrackDiff	53
4.1.2	Resultados da avaliação	56
4.2	Avaliação do AR Sandbox com MOS	61
4.2.1	Adaptação do questionário MOS	61
4.2.2	Resultados da avaliação	62
<b>5</b>	<b>LIÇÕES APRENDIDAS</b>	66
5.1	AR Sandbox como experiência tangível	66
5.1.1	Como as TUIs estão sendo utilizadas na prática?	66
5.1.2	Quais metodologias de avaliação estão sendo aplicadas às TUIs?	68
5.1.3	O que deve ser avaliado em TUI?	68



5.2	AR Sandbox como ferramenta de ensino-aprendizagem na disciplina de Topografia . . . . .	70
6	CONCLUSÃO . . . . .	72
6.1	Contribuições . . . . .	72
6.2	Limitações de escopo em função da COVID-19 . . . . .	74
6.3	Trabalhos Futuros . . . . .	75
	REFERÊNCIAS . . . . .	76
	APÊNDICE A MODELO DO QUESTIONÁRIO DE USABILIDADE . . . . .	88
	APÊNDICE B MODELO DO QUESTIONÁRIO DE UX . . . . .	91
	APÊNDICE C MODELO DO QUESTIONÁRIO DO MOS . . . . .	94

# 1 INTRODUÇÃO

A área de Interação Humano Computador (IHC) se preocupa em oferecer diretrizes para o desenvolvimento de interfaces de usuário, para isso, faz parte o processo de projetar, desenvolver e avaliar (MARSH, 1990). O processo de avaliação consiste em testar a aplicação com um grupo de especialista e/ou um grupo de não-especialistas, tipicamente o público-alvo da aplicação. A avaliação pode ser feita através da observação, entrevista ou questionário e provê aos desenvolvedores a identificação de falhas nas funcionalidades durante uso da aplicação, assim como a aceitação dos usuários do ponto de vista da aplicabilidade e da experiência de uso. Dois tipos de avaliação se destacam, a Usabilidade e a Experiência de Usuário, a Usabilidade foca avaliar os aspectos funcionais da aplicação e a Experiência de Usuário avalia os sentimentos do usuário ao usar a aplicação (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013; VERMEEREN et al., 2010).

O trabalho (ISHII et al., 2012) retrata como as interfaces estão evoluindo para pertencerem cada vez mais ao mundo real, os elementos da interação que até então são digitais ganham um tipo de atuação no mundo real. Ainda segundo Ishii, as GUIs são formadas por bits dispostos em uma tela, porém, este tipo de interface não permite que sejam aplicadas destrezas ou habilidades do usuário para manipular objetos. As Interfaces Tangíveis de Usuário (TUI, do inglês "*Tangible User Interface*"), se diferenciam pela presença de objetos físicos como elemento de interação. Em um cenário de interações tangíveis existe o objeto e um conjunto de movimentos ou ações que o usuário pode realizar sobre ou em conjunto com este elemento físico e, por sua vez, a aplicação reconhece esta interação e responde de forma visual, háptica e/ou sonora sobre o próprio objeto ou ambiente (ISHII, 2008a).

Um exemplo de aplicação deste tipo é o AR Sandbox, nele um mapa topográfico é projetado sobre uma caixa de areia, o usuário mexe na área a fim de criar cenários com montanhas, planícies, bacias hidrográfica, entre outros, e o mapa topográfico é atualizado, além disso é possível simular chuva erguendo a mão como uma nuvem e o movimento da água aparece escorrendo pela superfície e acumulando nas áreas, para o usuário a sensação é de estar moldando o próprio mapa topográfico (DARLEY

et al., 2017a).

Entretanto das diversas interfaces criadas seguindo esta proposta de Interfaces Tangíveis, para suas avaliações ainda usam metodologias aplicadas para as Interfaces Gráficas de Usuários (GUI, do inglês "*Graphical User Interface*"), que são as comuns presentes nos computadores e celulares, por exemplo. As metodologias de avaliação das GUIs tendem avaliar as questões gráficas e funcionais da aplicação, deixando de lado avaliar aspectos da interação, onde a forma de interação reflete no comportamento do usuário com a aplicação e consequentemente na sua experiência.

As TUIs e as GUIs elas têm diferenças notáveis principalmente na forma de interação, enquanto que as GUIs possuem dispositivos adicionais para entrada e para saída, as TUIs contém o elemento de interação sendo o dispositivo de entrada e saída sob o mesmo objeto. Das diversas aplicações TUI desenvolvidas, a maioria são mesas tangíveis ou aplicações que propõe atividades colaborativas (COSTA et al., 2018), portanto além da forma de interação com a aplicação, há também a influência do espaço e dos outros usuários que devem fazer se comunicar para realizar atividades em conjunto.

No desenvolvimento das GUIs, como os dispositivos e formas de interação já existem e são bem definidos, as escolhas então se detém nas cores, tamanho e nos itens gráficos, já no desenvolvimento de TUI, podem existir mais de um elemento de interação, tendo que preocupar nas escolhas com formatos, tamanhos e cores destes, além de ter atividades colaborativas em espaço compartilhado. Cada variação destes fatores influi na experiência do usuário e usabilidade da aplicação, portanto devem ser prototipados e avaliados.

## 1.1 Antecedentes

No ano de 2016 o projeto AR Sandbox foi implantado no Laboratório Hidrossedimentologia e Solos no campus Porto da Universidade Federal de Pelotas. Na monografia intitulada "Interação de Usuário com Interfaces Tangíveis: Uma Análise de Experiências Utilizando o Projeto AR Sandbox" (DARLEY, 2017) é explorado o impacto do uso desta aplicação em sua especificidade de ser TUI como ferramenta de ensino para alunos de graduação, tendo sido realizada a avaliação interface do AR Sandbox com alunos e professores do curso de Engenharia Hídrica e dos cursos de Computação. Foram aplicadas entrevistas com professores do curso e aos alunos foram aplicados questionários para avaliação de Usabilidade e Experiência de Usuário, utilizando a ferramenta AttrackDiff, além de obter dados por observação (Figura 1).

Os resultados obtidos deste trabalho mostram que os alunos têm mais interesse em topografia quando apresentado o AR Sandbox como ferramenta diferente e tecnológica, e que o AR Sandbox facilita o aprendizado, para aqueles aluno que tem

dificuldades em topografia em visualizar o mapa topográfico em imagens impressas em livros, além disso observou-se que os alunos compartilham conhecimento com os colegas ao utilizar o AR Sandbox trabalhando colaborativamente para simulação de barragens e escoamentos, com acompanhamento de professor como avaliador da atividade. O trabalho desta monografia proporcionou a publicação do artigo (DARLEY et al., 2017b).



Figura 1 – Aplicação AR Sandbox na UFPel.

O trabalho de (JURGINA; JOAO; TAVARES, 2015), revisitou o Projeto AR Sandbox exposto na UFPel e fez uma pesquisa com 44 alunos a fim de obter informação sobre a experiência com o AR Sandbox. Enfatiza o uso da tecnologia de Realidade Aumentada, presente na TUI, como potente ferramenta para o desenvolvimento de aplicações educacionais. Com resultados positivos do questionário aplicado para a avaliação da experiência, afirma-se que o AR Sandbox é uma ferramenta um método diferencial para o ensino de topografia.

Em 2018 iniciou-se uma nova fase da pesquisa a fim de investigar as metodologias de avaliação de TUIs. As avaliações de Usabilidade e de Experiência de Usuário, através de entrevista, questionários montados e observação realizadas previamente apresentaram resultados assertivos quanto ao interesse e prazer dos usuários ao utilizar o AR Sandbox e quanto ao aperfeiçoamento do ensino de topografia. Entretanto, em termos de aplicabilidade dos métodos de avaliação há a incerteza de que a avaliação tenha se sustentado para o domínio da TUI e que tenha permitido avaliar aspectos da interação tangível.

Neste cenário iniciou-se os estudos a fim de explorar as metodologias de avaliação e as particularidades das TUIs. Em 2018 se publicou o artigo "*Methodologies and Evaluation Tools Used in Tangible User Interfaces: A Systematic Literature Review*" (COSTA et al., 2018), que apresenta resultado da revisão da literatura de metodologias de avaliação em aplicações de TUI. Desta revisão verificou-se que as abordagens mais utilizadas são Usabilidade e Experiência de Usuário e que as ferramentas mais utilizadas são questionário e observação. O estudo evidenciou que a hipótese que as metodologias de avaliação aplicadas às TUIs são as mesmas aplicadas às GUIs,

colaborando com a ideia de tais avaliações não serem adequadas por não permitir avaliar a interação do usuário com o elemento de interação tangível.

## 1.2 Motivação

O Projeto AR Sandbox foi desenvolvido pela UC Davis, em colaboração com o *UC Davis Tahoe Environmental Research Center*, o *Lawrence Hall of Science*, e o *ECHO Lake Aquarium and Science Center* (KREYLOS, 2016). O projeto consiste em uma aplicação de TUI de cunho didático e educativo que oferece ao usuário uma forma dinâmica de representar o mapa topográfico. Sua infraestrutura consiste em uma caixa de areia onde é projetado um mapa topográfico sobre ele, na medida em que a superfície de areia é modificada pelo usuário, o mapa é recalculado, ou seja, é como se o usuário estivesse moldando o mapa topográfico. O usuário então pode mexer na caixa de areia a fim de formar montanhas, planícies, depressões e afins, além de posicionando sua mão como se fosse uma nuvem sobre a caixa de areia, simular a chuva observando o escoamento da água pela superfície do mapa (Figura 2).

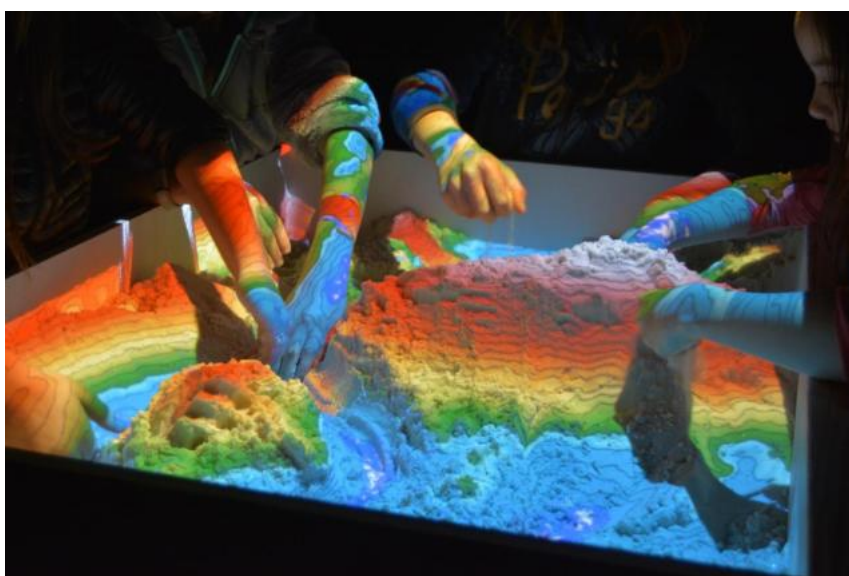


Figura 2 – Projeto AR Sandbox na Universidade do Alasca.

Fonte: [arsandbox.ucdavis.edu/](https://arsandbox.ucdavis.edu/)

O AR Sandbox é um projeto de software livre, seus criadores publicaram o código-fonte da aplicação e manual de instalação para o público ter acesso e poder reproduzi-lo em outros lugares. No site oficial do projeto<sup>1</sup> é possível encontrar mais informações a respeito da aplicação e conhecer outros grupos de diversos países que implantaram esta aplicação, como pode ser visto na Figura 3(a). No Brasil, o AR Sandbox é adotado em algumas instituições como ilustrado na Figura 3(b) e no Rio Grande do Sul a UFPel foi a instituição pioneira.

<sup>1</sup>Site Oficial do AR Sandbox disponível em <https://arsandbox.ucdavis.edu/>

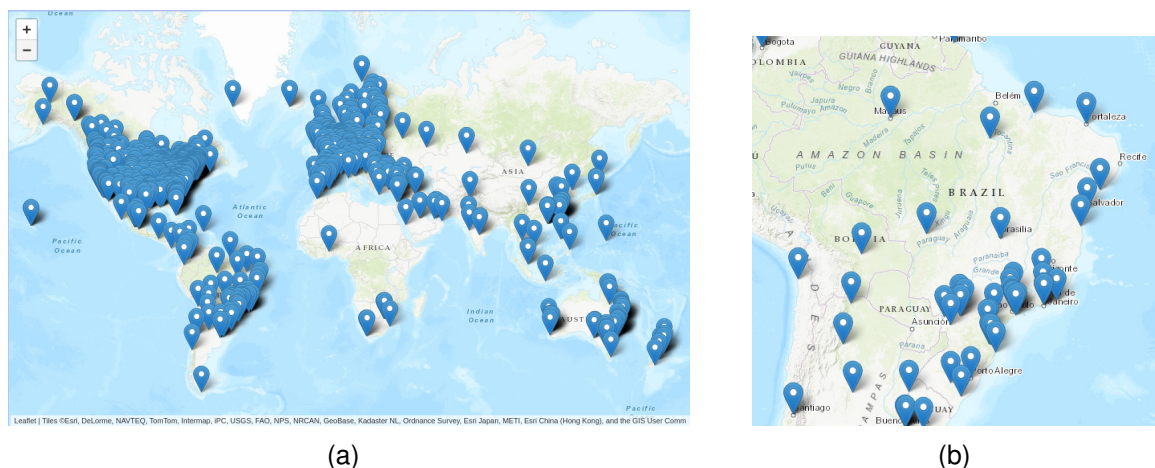


Figura 3 – Instituições no mundo e no Brasil que utilizam o AR Sandbox.

No trabalho de Piumsomboon et al. (2012) o AR Sandbox foi utilizado como um mecanismo de ambiente de colaboração, em uma mesa os usuários manipulam elementos virtuais além de estarem interagindo e colaborando com colegas. No trabalho de Jenkins, Gant, e Hopkins (2014) foi feita a aplicação do AR Sandbox em sala de aula de uma escola com o objetivo motivar os jovens alunos a se interessarem pela ciência e fazê-los entender que simulações são importantes em pesquisas científicas. Offermo (2016) também aplicou o AR Sandbox em escola para ensinar geografia e observou que o aprendizado dos alunos através de novas experiências é mais enriquecedor, devido neste caso, o aprendizado ser por uma visualização espacial, o que interfere no interesse. O mesmo trabalho avaliou a eficiência do AR Sandbox na educação como forma de instigar as capacidades dos alunos, tanto de raciocínio lógico quanto de visualização de cenas.

Segundo seus idealizadores o AR Sandbox foi desenvolvido para ser uma ferramenta que em tempo real faz uso da Realidade Aumentada para criar fisicamente modelos de topografia e que seu uso é independente e ideal para ser exibido em museus de ciência. Percebe-se que o AR Sandbox está sendo utilizado como uma poderosa ferramenta para o ensino de topografia em salas de aula. Através do fórum a comunidade compartilha suas implementações, dúvidas e ideias.

### 1.3 Objetivo

O Objetivo Geral desta pesquisa é analisar a aplicação das metodologias de avaliação de Usabilidade e Experiência de Usuário (UX) para Interfaces Tangíveis de Usuário, utilizando como objeto de estudo a aplicação AR Sandbox. Para isso tem-se como objetivos específicos:

- Mapeamento de Métodos e Técnicas do Estado da Arte;

- Realização de Experimentos;
- Análise Comparativa de Resultados Obtidos;
- Reinterpretação dos Métodos Utilizados através das perspectivas de uso e lições aprendidas.

Para o objetivo específico **Mapeamento de Métodos e Técnicas do Estado da Arte** foram realizadas dois processos de revisão sistemática da literatura: um para compreensão dos métodos aplicados em exercícios de avaliação de interfaces tangíveis e outro para explorar a utilização de interfaces tangíveis em museus.

Sendo assim, as seguintes questões de pesquisa foram identificadas para nortear este trabalho:

- Como as TUIs estão sendo utilizadas na prática?
- Quais metodologias de avaliação estão sendo aplicadas às TUIs?
- O que deve ser avaliado em TUI?

Portanto a contribuição deste trabalho é na área de avaliação de interfaces, propondo um diretrizes para desenvolvimento e avaliação de interfaces tangíveis, a partir da experiência de usuário abordando os aspectos diferenciais como a interação com objetos físicos e cooperatividade entre usuários.

## 1.4 Organização da Dissertação

Para apresentar esta pesquisa a dissertação está organizada em 5 capítulos.

No capítulo 1 é apresentado o tema da pesquisa, de onde surgiu a motivação e o objetivo deste trabalho.

No capítulo 2 são apresentados os conceitos que norteiam a área da pesquisa. É explicada o que é interface de usuário, o processo de avaliação nas metodologias de Usabilidade e UX e seus instrumentos.

No capítulo 3 é apresentado o estado da arte, a partir da descrição das Revisões Sistemática da Literatura neste realizadas.

No capítulo 4 são descritos os experimentos realizados com o AR Sandbox, a avaliação com AttrackDiff e com MOS.

No capítulo 5 são apresentadas as lições aprendidas, com os resultados a partir da discussão entre a revisão da literatura e experimentos, respondendo as questões de pesquisa. E a perspectiva do AR Sandbox com a experiência tangível e como ferramenta de ensino-aprendizagem.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as contribuições deste projeto, a limitação de escopo devido à COVID-19 e os trabalhos futuros.

## 2 PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE INTERFACES DE USUÁRIO

A área da Interação Humano-Computador (IHC) surgiu na década de 80, como sendo a área focada em estudar a interação de humanos com computadores, visto que nessa época sistemas computacionais estavam se tornando cada vez mais populares. Faz parte da área de IHC desenvolver técnicas de projetar e avaliar interfaces de usuário (HEWETT et al., 1992).

Nas últimas décadas a popularização de diversos insumos computacionais trouxe uma grande variedade de formas novas de experimentar a interação com os sistemas computacionais. Sendo assim, além de projetar sistemas de mais fácil utilização e eficientes, o projetista de interfaces passou a pensar em atratividade, acessibilidade e ubiquidade como características desejáveis em uma interface de usuário.

Para construir produtos de qualidade é necessário um modelo de processo que aplique técnicas e metodologias com a premissa de desenvolver um produto eficaz e eficiente para o usuário. A abordagem *Design Thinking* permite encontrar soluções através de técnicas que envolvem cocriação. O modelo proposto em (CRADY, 2018), se baseia na abordagem Design Thinking para desenvolvimento de UX Research, uma técnica para explorar necessidades de usuários, e conta com 5 fases de interação, que são: Empatia, Definição, Ideação, Prototipação e Teste (Figura 4) .

As fases de **Empatia** e **Definição** partem do processo exploratório, com uma conversa ou entrevista com o usuário a fim de compreender suas necessidades, são elencados os requisitos do usuário, e então se define as funcionalidades e tipos de usuários (ou personas). A partir disso inicia a fase de **Ideação**, com a equipe é pensado no produto que se deseja alcançar, sabendo dos requisitos dos usuários, são feitas as decisões sobre a tecnologia e infraestrutura a serem usadas. Neste momento é criado um esboço da interface do usuário, com a escolha dos elementos visuais e formas de interação.

A fase de **Prototipação** irá desenvolver um produto que dá forma às ideias coletadas previamente e, que não necessariamente será o resultado final, mas que chegará mais próximo aos requisitos dos usuários.



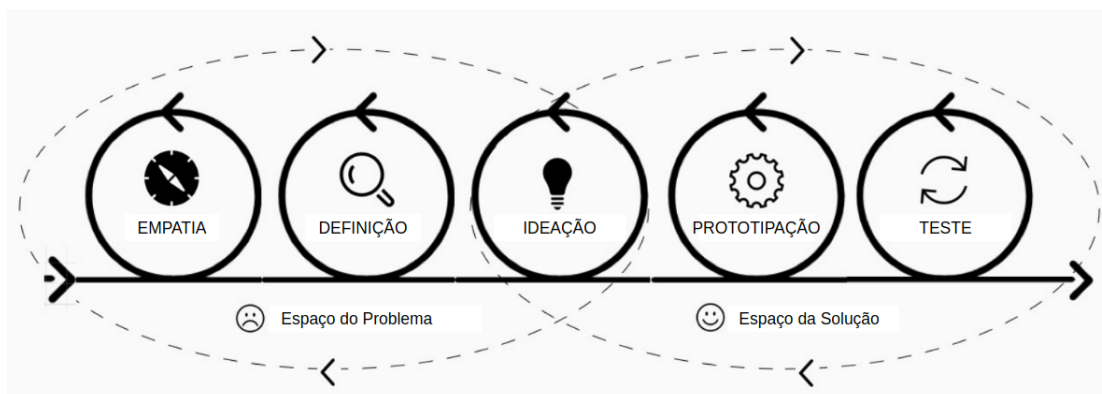


Figura 4 – Modelo de processo para UX Research.

Fonte: Adaptado de Crady, 2018.

Com o protótipo é iniciada a fase de **Teste** que irá avaliar a qualidade da aplicação como um todo a partir da visão do usuário final. É escolhido o método de avaliação para identificar erros e acertos do produto e que contribuem para uma nova rodada de desenvolvimento para um novo protótipo. Faz parte deste processo avaliar a interface da aplicação, o impacto do uso da tecnologia escolhida e a satisfação do usuário sobre o produto (PREECE; ROGERS, 2007).

## 2.1 Compreendendo o objeto: a interface de usuário

A interface é o meio de comunicação entre o usuário e sistema, é por ela que o usuário controla e se situa dentro da aplicação enviando e recebendo informações durante o uso. A Figura 5 explica o funcionamento da interface: na comunicação entre o usuário e o sistema, o sistema que detém a aplicação provê a interface para o usuário, o usuário então envia sua ação para o sistema que será reconhecida através da comunicação entre interface e aplicação, e será entregue a resposta para o usuário a ser interpretada.

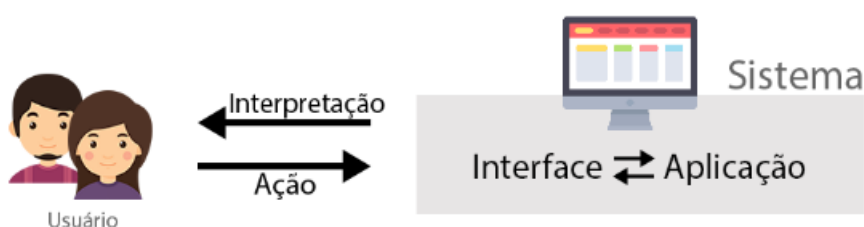


Figura 5 – Funcionamento de uma interface.

Em interfaces **GUI** (do inglês, "*Graphical User Interface*"), presentes nos computadores e celulares, a interação se dá através de elementos gráficos na tela. Nas interfaces de computadores através dos ícones, janelas e cursor, e o usuário usa o clique ou digita para enviar ações, utilizando um dispositivo como mouse e teclado. Nas

interfaces de celulares, o usuário também dispõe de ícones e janelas e por possuir tecnologia *touchscreens*, utiliza os dedos para envio das ações em clique ou digitação.

A Figura 6(a) apresenta a interface gráfica do sistema operacional Linux Mint 20 para computador e a Figura 6(b) apresenta a interface do sistema operacional iOS 14 para celular. Percebe-se que ambas interfaces gráficas são ambientadas em telas e que se diferem no modo de interagir, em computadores é necessário o uso de dispositivos conectados como mouse e teclado, enquanto que nos celulares se usa os dedos. Além disso, interfaces de computadores são desenvolvidas para diferentes modelos de monitores (de notebooks e externos) e, de celulares, são desenvolvidos para modelos específicos, para que sejam explorados seus recursos e funcionalidades, como os movimentos de toque, arraste e pinçar.

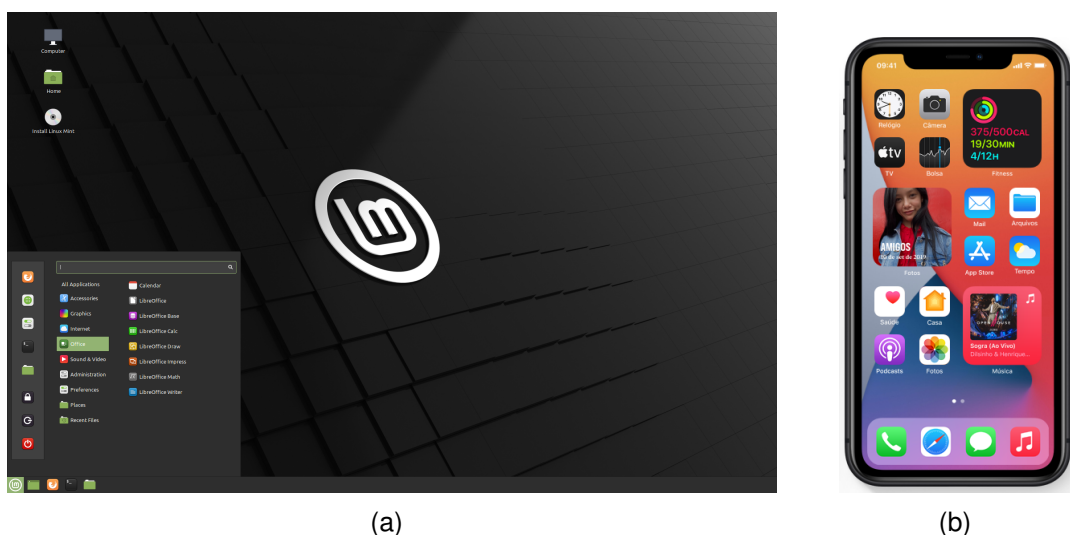


Figura 6 – Interface gráfica do Linux Mint 20 e do iOS 14.

Fonte: [linuxmint.com](https://linuxmint.com) e [apple.com](https://apple.com)

Conforme foram surgindo dispositivos com capacidade de reconhecer situações do mundo real, como sensores de movimento, novas formas de interação começaram a surgir.

Surgem as aplicações de **Realidade Virtual** (RV), que são aquelas que simulam ambientes reais e interativos, e trazem ao usuário a representação digital no cenário real. Para isso tem-se uma camada de interface gráfica no cenário, um exemplo de aplicação deste tipo são os óculos virtuais, neste o usuário movimenta o dispositivo com a cabeça para direcionar o campo de visão para o que deseja visualizar. A **Realidade Aumentada** (RA) adicionado à RV combina a visualização do ambiente do mundo real com objetos virtuais (KIRNER; KIRNER, 2008), ou seja, em RA são inseridos elementos virtuais no ambiente real, um exemplo de aplicação de RA é o jogo Pokemon GO, que insere personagens do jogo em cenários reais..

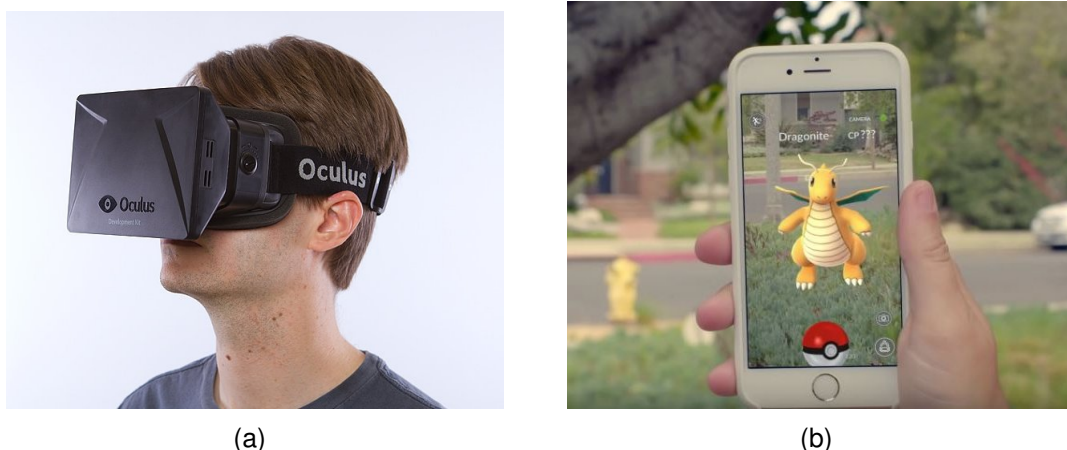


Figura 7 – Oculus Rift desenvolvido pela Oculus VR (a) e Pokemon GO, jogo de realidade aumentada (b).

A evolução da tecnologia permitiu que fossem criados diversos dispositivos e sensores que permitem detectar e manipular ambientes físicos. Surgem então as **Interfaces Tangíveis de Usuário (TUI)**, do inglês "*Tangible User Interface*". O termo foi cunhado por Ishii e Ullmer (1997), que definiu a TUI como um novo tipo de interação que acopla a informação digital com os objetos físicos do cotidiano e ambientes.

Com o uso de TUI é possível fazer com que objetos se tornem uma informação digital, ou seja, os objetos têm a capacidade de serem reconhecidos pelo sistema. Para se comunicar com a aplicação, os usuários podem manipular objetos de forma a trocar sua posição e seu formato, tornando a interação mais intuitiva e natural (ISHII, 2008a). A Figura 8 apresenta uma imagem retirada da publicação do mesmo autor ilustrando como é a interação em TUI. No mundo físico o usuário controla o material físico sendo este a representação tangível, no mundo digital o sistema reconhece esse objeto como uma informação digital e, após a execução de determinada tarefa relacionada à ação do usuário, o sistema responderá através da representação intangível podendo ser a projeção de uma imagem sobre o próprio objeto físico. Nota-se que o usuário molda o objeto e o sistema responde sobre o mesmo objeto, portanto o usuário controla a própria interface trazendo a sensação de imersão, mesclando o mundo físico com o mundo digital.

Segundo Ishii (2008a), as GUIs são formadas por bits dispostos em uma tela, porém, este tipo de interface não permite que sejam aplicadas destrezas ou habilidades do usuário para manipular objetos. Ainda segundo o autor, as TUIs surgem como uma nova maneira de inserir a tecnologia digital em um ambiente físico, representando a forma física em uma informação digital. Em TUI os elementos físicos e os elementos virtuais quase não têm distinção, tornando a tecnologia praticamente invisível.

Em meados de 2012, o grupo do *MIT Media Lab* liderado por Hitori Ishii publicou um artigo intitulado "*Radical Atoms: Beyond Tangible Bits, Toward Transformable Ma-*

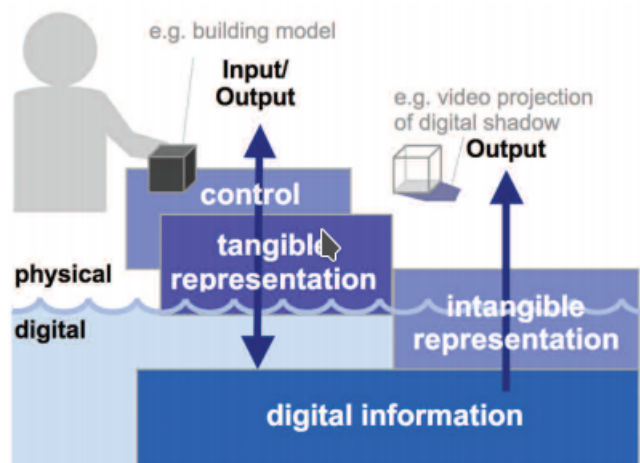


Figura 8 – Interação de usuário com interface tangível.

Fonte: Ishii, 2008.

*terials*" que discute a evolução e o futuro das interfaces de usuários (ISHII et al., 2012). Este trabalho apresenta o conceito de "**Radical Atoms**" que são materiais capazes de alterar suas propriedades físicas, tornando possível, um retorno tangível de elementos de interface. Para Ishii et al. (2012) *Radical Atoms* é o futuro em termos de IHC onde aplicações poderão lançar mão de elementos digitais se manifestando de forma física no ambiente real. Além disso, o trabalho aborda que em TUIs o grande desafio é identificar as modificações das formas e cores do material de manipulação. E isso se reflete ao *Radical Atoms* também, pois para os materiais no mundo digital não existem limitações, eles podem sofrer qualquer tipo de alteração, em contrapartida, no mundo real um objeto físico possui suas limitações de acordo com as leis físicas.

A Figura 9 mostra a evolução dos três tipos de interface: GUI, TUI e Radical Atoms, comparando-as aos *icebergs*. Nesta Figura o que está dentro da água são elementos que pertencem ao mundo digital e o que está fora pertencem ao mundo físico. Pode-se observar que GUI está totalmente imerso no mundo digital, pois o usuário enxerga as informações pela tela e interage pelo *mouse*, teclado e *touchscreen*. TUI pertence ao mundo digital e uma ponta do *iceberg* pertence ao mundo físico, permite que a interação seja feita por elementos físicos mas a aplicação continua no meio digital. E os Radical Atoms são a manifestação das informações digitais no mundo físico, permitindo que os usuários manipulem os elementos digitais no mundo físico.

Em resumo as interfaces vêm evoluindo para tornar a comunicação entre usuário e computador mais intuitiva e natural, tornando-se fáceis de serem utilizadas. Dispositivos como monitores, teclados e *mouses* são pioneiros das interfaces, além destes, os *touchscreens* e dispositivos de reconhecimento de voz já são populares e recentemente estão surgindo aplicações baseadas em TUI com a intenção de fazer com que o usuário se sinta imerso em ambiente físico e digital. São interfaces que são

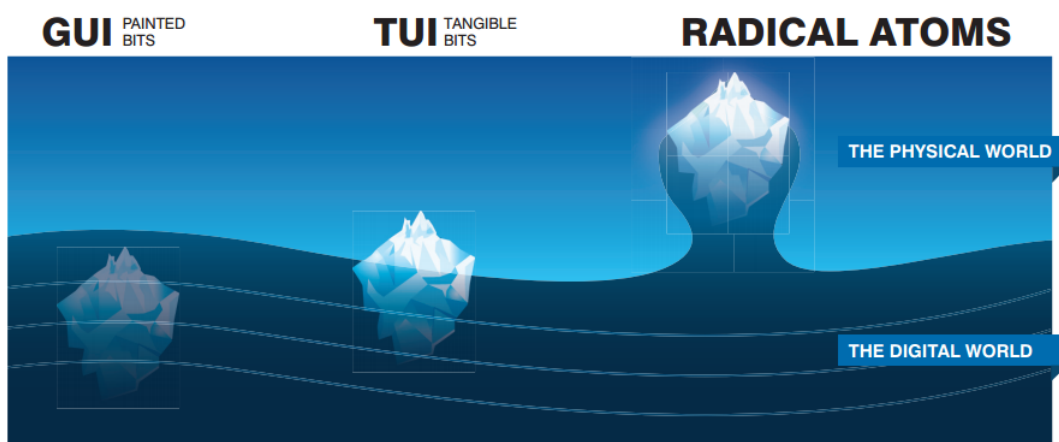


Figura 9 – Representação de Radical Atoms.

Fonte: Ishii, 2012.

manipuladas por movimentos do corpo e que extraem habilidades naturais do usuário, como a percepção do ambiente e a habilidade de manipular objetos.

### 2.1.1 As especificidades das TUIs

Segundo Ishii (2008a), as GUIs são formadas por "*bits dispostos em uma tela*", porém, este tipo de interface não permite que sejam aplicadas destrezas ou habilidades do usuário para manipular objetos. Ainda segundo o autor, as TUIs surgiram como uma nova maneira de inserir a tecnologia digital em um ambiente físico, representando a forma física em uma informação digital. Em TUI os elementos físicos e os elementos virtuais quase não têm distinção, tornando a tecnologia praticamente invisível.

Existem diferentes gêneros de aplicação (ISHII, 2008b) para interface tangíveis, tais como:

- **Materiais maleáveis:** permitem mudar a forma dos objetos físicos, como por exemplo, a manipulação da areia;
- **Objeto Digital Tangível:** o objeto suporta interação e troca de informações de forma visual ou sonora com o usuário, como por exemplo, robôs que reconhecem imagens e comandos de voz;
- **Realidade Aumentada em Objetos Reais:** são utilizados objetos do cotidiano e a interação resulta em um *feedback* digital, como por exemplo, a manipulação de copos onde o movimento do copo resulta em um efeito sonoro;
- **De Construção:** objetos são encaixados a fim de formar um objeto tangível mais complexo, um exemplo disso, são as peças de Lego;
- **Tokens:** baseados em elementos que representam uma operação ou informações, como por exemplo, o reconhecimento de cartões;

- **Ambiente Digital Tangível:** capaz de simular a presença de alguém e, através dos movimentos desta presença não real, manipular objetos. Um exemplo disso é a presença em vídeo de uma pessoa e o movimento captado que resulta em um movimento de um objeto;
- **Mesas Interativas:** superfícies que permitem a manipulação colaborativa entre os usuários, neste gênero sensores captam o movimento e o *feedback* visual é apresentado na mesma superfície. Um exemplo disso, são as mesas com toque, onde os movimentos dos usuários resultam em um efeito diferente;
- **Memória de Movimento Tangível:** o objeto tem a capacidade de gravar e repetir o movimento. Um exemplo disso, são os robôs.

Esses diversos tipos de gêneros de aplicações em TUI demonstram que, enquanto interfaces gráficas suportam num mesmo espaço (tela) diversos tipos de mídias e aplicações com contextos diversos, as interfaces tangíveis exigem, pelas suas características, contextos mais específicos de uso.

Dourish (2001) aplicou o termo **Computação Tangível** para discutir a inserção de elementos computacionais no cotidiano de pessoas, de forma ubíqua, que estes façam parte do ambiente a fim de interagir naturalmente com usuários. Portanto, esta ideia consiste em conectar diversos dispositivos digitais no ambiente real, de maneira que estes dispositivos possam reagir ao usuário e permitir que objetos físicos sejam manipulados.

A **Interação Tangível** é um termo sugerido por Hornecker e Buur (2006) para abordar um campo mais abrangente que TUI, se preocupando na interação social através de aplicações tangíveis e, portanto, englobando a questão da interação com o ambiente e a gesticulação corporal.

Jacob et al. (2008) trouxe o termo **Interação Baseada em Realidade** para conceituar novos estilos de interação das aplicações voltadas às habilidades do usuário. Este contexto sugere que a interação com informação digital é mais próxima da interação com o mundo real. Para os autores a Interação Baseada em Realidade possui quatro conceitos, que são:

- **Física intuitiva:** a percepção do usuário sobre o mundo real;
- **Consciência corporal e habilidades:** a noção que o usuário tem do seu corpo e a habilidade de coordenar seus gestos;
- **Consciência ambiental e habilidades:** a percepção que o usuário tem do ambiente ao seu redor e sua habilidade de interagir com o mesmo;

- **Consciência social e habilidades:** a percepção que o usuário tem de outros usuários no mesmo ambiente, a comunicação entre os mesmos e a habilidade de realizar tarefas em conjunto para alcançar o mesmo objetivo.

Goldin-Meadow et al. (2009) sugere que o uso de gestos facilitam o aprendizado, uma vez que é extraído conhecimento do movimento de suas próprias mãos. Klemmer et al. (2006) apresentam cinco temas que explicam a importância dos elementos físicos na interação, que são:

- **Thinking through doing:** o raciocínio enquanto age, descreve como o pensamento e a ação estão conectados e podem desenvolver a aprendizagem e raciocínio;
- **Desempenho:** descreve como as ações são mais rápidas e com mais variantes em comparação com a cognição simbólica;
- **Visibilidade:** descreve o papel dos objetos físicos na colaboração e cooperação;
- **Risco:** explora como a dúvida e os atributos de risco da copresença física moldam as interações entre usuários e com a aplicação;
- **Densidade da prática:** sugere que a interação corporificada é um caminho mais seguro.

No artigo *"In Search of Tangible Magic"* (XU; READ; SHEEHAN, 2008) se discute sobre uma qualidade que é inerente às interfaces tangíveis chamada **"magia tangível"**, que eles descrevem como uma combinação da novidade de usar objetos para fazer coisas inesperadas e do prazer que ganhamos ao manusear objetos físicos.

Portanto, diversos autores instigam que TUI é superior a GUI em termos de performance e aprendizado. As TUIs são interfaces que chamam atenção dos usuários por além de utilizar objetos físicos conhecidos como transformados em digital, aproveita dos gestos e conhecimento do usuário para interação em uma forma de interagir natural e intuitiva, elevando as sensações de estar instigando o mundo digital dentro do seu ambiente de domínio.

## 2.2 Entendendo o processo de avaliação e seus aspectos

Dentro do processo de desenvolvimento da interface de usuário, tem-se a avaliação. Tal atividade tem como objetivo realizar testes com o usuário a fim de identificar falhas da aplicação, assim como aceitação do público-alvo.

Para fazer a avaliação de interface são escolhidas as abordagens e instrumentos de avaliação. As abordagens de avaliação dirão quais aspectos da interface serão avaliados, como as funcionalidades, cores, dimensões, respostas e erros, para isso



tem-se como métodos: Utilidade, Usabilidade e Experiência de Usuário. E os instrumentos de avaliação são os materiais que serão usados para obter os resultados das avaliações (qualitativos e quantitativos), que podem ser: entrevista, questionário, escala e observação. A Figura 10 apresenta as abordagens de avaliação e os aspectos a serem avaliados em cada.



Figura 10 – Aspectos a serem avaliados em interfaces.

A **Utilidade** está relacionado a quantidade de tarefas que a aplicação pode executar. Uma aplicação deve oferecer um conjunto de funcionalidades úteis aos usuários, caso uma funcionalidade não se comporte de forma adequada, o sistema perderá em utilidade (DIAS, 2002). A **Usabilidade** foca nas funcionalidades da aplicação, então são avaliados os seguintes fatores: o usuário conseguiu interagir com o sistema aprendendo suas funcionalidades, o usuário conseguiu encontrar suas funcionalidades de acordo com sua necessidade, o usuário conseguiu lembrar e repetir uma tarefa, usuário não cometeu erros ou caso tenha cometido, ele conseguiu resolver e se usuário esteve satisfeito com o sistema (NIELSEN, 1994). Visto que uma aplicação não só necessita que seu comportamento esteja de acordo com o esperado, como também necessita que o usuário se sinta satisfeito com a aplicação e de fato, qualquer experiência provoca uma sensação ao usuário, a avaliação de **Experiência de Usuário** (UX, do inglês "User Experience") se detém na interação do usuário com a aplicação por inteiro, avaliando pensamentos e sentimentos do usuário (ALBERT; TULLIS, 2013).

Destas abordagens as mais utilizadas e presentes na literatura são Usabilidade e UX (COSTA et al., 2018). As duas combinadas são suficientes para os resultados da avaliação de interfaces de usuário.



### 2.2.1 Usabilidade

Ao longo dos anos, o conceito de usabilidade foi se tornando mais abrangente e discutível. Na década de 80 a usabilidade se referia a capacidade de um produto ser facilmente usado. Isto implicava em avaliar a qualidade do software, sobre o quanto suas funcionalidades correspondiam com o esforço necessário para utilizar a aplicação (CARROLL, 2009). Hoje em dia também entram em usabilidade questões como diversão, conforto, aprendizagem, eficácia, entre outros (COCKTON, 2013).

Para a avaliação de usabilidade existem quatro métodos: teste, inquérito, experiência controlada e inspeção. Os três primeiros métodos são baseados em recolhimento de dados do usuário e o quarto método é por análise de um especialista na área de usabilidade (DIX, 2004). O método de teste, que é o escolhido para ser aplicado neste trabalho, consiste em observar o usuário realizando tarefas na aplicação e recolher dados quantitativos para encontrar maneiras de como melhorar a usabilidade do produto. Neste tipo de método é possível verificar se o usuário conseguiu realizar determinada tarefa e o grau de satisfação com a aplicação.

Nielsen (1994) indicou cinco fatores para medir a usabilidade, são estes:

**Facilidade de aprendizado:** o usuário consegue interagir com o sistema aprendendo suas funcionalidades;

**Eficiência:** o usuário consegue encontrar suas funcionalidades de acordo com a necessidade;

**Memória:** o usuário consegue se lembrar e repetir uma interação;

**Some erros:** o usuário consegue interagir sem cometer erros ou caso cometa erro, ele consegue resolver;

**Satisfação:** o usuário está satisfeito com o sistema.

Com estes fatores, Nielsen 2005 publicou as "**10 Heurísticas da Usabilidade**", que são:

- 1. Visibilidade do estado do sistema: O sistema deve sempre manter os usuários informados sobre o que está acontecendo, por meio de feedback apropriado em tempo razoável.
- 2. Correspondência entre o sistema e o mundo real: O sistema deve falar a língua dos usuários, com palavras, frases e conceitos familiares ao usuário, ao invés de termos orientados para o sistema. Siga as convenções do mundo real, fazendo com que as informações apareçam de forma natural e em ordem lógica.
- 3. Controle e liberdade do usuário: Os usuários costumam escolher funções do sistema por engano e precisarão de uma "saída de emergência" claramente

marcada para sair do estado indesejado sem ter que passar por um diálogo extenso. Suporte para desfazer e refazer.

- 4. Consistência e padrões: Os usuários não devem se perguntar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa. Seguir convenções de plataforma.
- 5. Prevenção de erros: Ainda melhor do que boas mensagens de erro, é um design cuidadoso que evita a ocorrência de um problema. Elimine as condições propensas a erros ou verifique-as e apresente aos usuários uma opção de confirmação antes que eles comprometam-se com a ação.
- 6. Reconhecimento em vez de recordar: Minimize a carga de memória do usuário tornando objetos, ações e opções visíveis. O usuário não deve ter que lembrar informações de uma parte do diálogo para outra. As instruções de uso do sistema devem ser visíveis ou facilmente recuperável sempre que apropriado.
- 7. Flexibilidade e eficiência de uso: Aceleradores, não vistos pelo usuário novato, muitas vezes podem acelerar a interação para o usuário experiente de tal forma que o sistema pode atender usuários inexperientes e experientes. Permita que os usuários personalizem ações frequentes.
- 8. Design estético e minimalista: Os diálogos não devem conter informações irrelevantes ou raramente necessárias. Cada unidade extra de informação em um diálogo compete com as unidades relevantes de informação e diminui sua visibilidade relativa.
- 9. Ajude os usuários a reconhecer, diagnosticar e se recuperar de erros: As mensagens de erro devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos), indicar precisamente o problema e sugerir uma solução de forma construtiva.
- 10. Ajuda e documentação: Mesmo que seja melhor se o sistema puder ser usado sem documentação, pode ser necessário fornecer ajuda e documentação. Essas informações devem ser fáceis de pesquisar, com foco na tarefa do usuário, lista de passos concretos a serem realizados, e não muito grandes.

### **2.2.2 Experiência de Usuário**

Assim como usabilidade, UX é uma metodologia que está em constante discussão, diferentes autores defendem uma visão do que é UX. De acordo com a ISO 9241-110:2010, UX é definida como: "percepções e respostas do usuário que resultam no uso e/ou utilização antecipada de um produto, sistema ou serviço" (VERMEEREN et al., 2010).

UX é uma avaliação interessante para testar produtos, visto que uma aplicação não só necessita que seu comportamento esteja de acordo com o esperado, como também necessita que o usuário se sinta satisfeito com a aplicação. De fato, qualquer aplicação provoca uma experiência ao usuário. A UX leva em conta a interação do usuário com a aplicação por inteiro, avaliando pensamentos e sentimentos do usuário (ALBERT; TULLIS, 2013).

Para avaliação de um produto por UX, pode-se utilizar métodos qualitativos como entrevistas, questionários e documentos escritos. Os dados coletados por observações podem ser citações verbais do usuário expressando suas opiniões, sentimentos e conhecimento. Os dados coletados das observações são descrições detalhadas do comportamento e ações do usuário e, os dados coletados em documentos são resumos, citações ou relatórios (PATTON, 1987). Já os métodos quantitativos permitem agrupar as respostas de um grupo de usuários a fim de analisar o que há de comum entre as respostas, e com a generalização pode-se extrair informações para comparações, ideias e significados dos acontecimentos ocorridos na avaliação.

## 2.3 Utilizando instrumentos de avaliação

Para avaliação de um produto, pode-se utilizar métodos **qualitativos** como entrevistas, questionários e documentos escritos. Os dados coletados por observações podem ser citações verbais do usuário expressando suas opiniões, sentimentos e conhecimento. Os dados coletados das observações são descrições detalhadas do comportamento e ações do usuário e, os dados coletados em documentos são resumos, citações ou relatórios (PATTON, 1987). Já os métodos **quantitativos** permitem contabilizar as respostas de um grupo de usuários a fim de analisar o que há de comum entre as respostas, e com a generalização pode-se extrair informações para comparações, ideias e significados dos acontecimentos ocorridos na avaliação.

Os instrumentos de avaliação são aplicados para coleta de dados da avaliação, podem ser qualitativos e quantitativos. Como instrumentos de avaliação de sistemas tem-se:

- Observação: o usuário é observado enquanto utiliza o sistema e o avaliador toma nota de suas ações e tarefas. O uso de câmeras pode registrar a avaliação.
- Questionário: são elencadas questões sobre os diferentes aspectos do sistema e interação, e este material é aplicado ao usuário a fim de avaliar a satisfação e aceitação do usuário com o sistema.
- Entrevista: consiste em um questionário interativos, onde o avaliador tem mais liberdade de explorar a avaliação do usuário, é possível aprofundar em aspectos

da interação do usuário de acordo com o seu teste. Pense Alto: o usuário deve testar o sistema e expressar suas ideias para o avaliador.

Uma instrumento de avaliação focado em UX é o **Questionário de Experiência de Usuário (UEQ)**, do inglês *User Experience Questionnaire*) desenvolvido por Laugwitz, Held e Schrepp (2008). Este questionário é baseado no modelo teórico de Experiência do Usuário descrito por Marc Hassenzahl, o qual faz uma distinção entre a qualidade ergonômica e qualidade hedônica. **Qualidade ergonômica** é sobre executar tarefas com eficiência e eficácia e **qualidade hedônica** é a respeito da qualidade estética da interface. Por sua vez, Hassenzahl (2008) defende que qualidade ergonômica leva em consideração a usabilidade, devido ao usuário se sentir mais confortável quando tem o controle da aplicação podendo prever alguma situação.

Esta discussão fez com que Laugwitz, Held e Schrepp definissem um formato de questionário que abrange a questão da qualidade ergonômica e da qualidade hedônica, um questionário que avalie o interesse do usuário pela aplicação e o comportamento da aplicação avaliada. O questionário possui pares de adjetivos, onde o usuário indica sua resposta em uma escala semântica em que cada extremidade da escala é um adjetivo, veja na Figura 11 um exemplo de pergunta em escala para questionário do tipo UEQ.



Figura 11 – Escala de UEQ.

Fonte: Adaptado de Laugwitz, Held e Schrepp, 2008.

Dentre os instrumentos de avaliação existentes para este trabalho foram utilizados AttrackDiff e MOS. Ambos foram aplicados em formato de questionários no modelo UEQ e adaptados para serem usados para a interface do AR Sandbox.

### 2.3.1 AttrackDiff: Avaliação de Produtos Interativos

O AttrackDiff<sup>1</sup> é uma ferramenta que permite avaliar a UX de produtos interativos. A ferramenta é online e oferece questionários para avaliação de interfaces em diversas dimensões como usabilidade, percepções, atratividade e estética. Além de gerar gráficos com o resultado obtido das respostas dos questionários.

As avaliações de UX no AttrackDiff são separadas por dimensões, que são: QP, QH-I, QH-E e ATT, onde:

- QP (Qualidade Pragmática): descreve a qualidade de uma aplicação e indica o grau de sucesso através dos usuários objetivos alcançados utilizando a aplicação;

<sup>1</sup>[www.attrakdiff.de/science-en.html](http://www.attrakdiff.de/science-en.html)

- QH-I (Qualidade Hedônica - Identidade): indica o nível de identificação imediata do usuário com a aplicação;
- QH-E (Qualidade Hedônica - Estímulo): indica se a aplicação apoia as necessidades do usuário em termos de originalidade, interesse e, especialmente, estímulo;
- ATT (Atratividade): é a medida mais abrangente que quantifica a atratividade global da aplicação, baseando-se na percepção da qualidade por parte do usuário.

A Figura 12 mostra um esquema que melhor explica a relação destes termos e como eles influenciam a percepção subjetiva do usuário. Ao se projetar uma interface o projetista idealiza a Qualidade Pretendida para sua aplicação, neste momento ele escolhe os itens, o conteúdo e as cores que serão utilizados, priorizando como que teoricamente o usuário gostaria e seu sentimento de atratividade com as escolhas, nisso então entra a Qualidade Pragmática e Hedônica da aplicação. No passo seguinte o usuário entra com a Avaliação Cognitiva, em primeiro momento, o usuário reconhece os elementos e observa a qualidade anteriormente idealizada pelo projetista, neste momento é possível verificar se o usuário de alguma forma se identificou e se sentiu atraído com aquilo. Até este ponto o usuário não tira conclusões sobre aquilo que lhe é apresentado, somente na Pós-Avaliação é que a partir da interpretação dos elementos é que o usuário irá mostrar sua satisfação, manifestando sua opinião através do comportamentos e expressões emocionais.

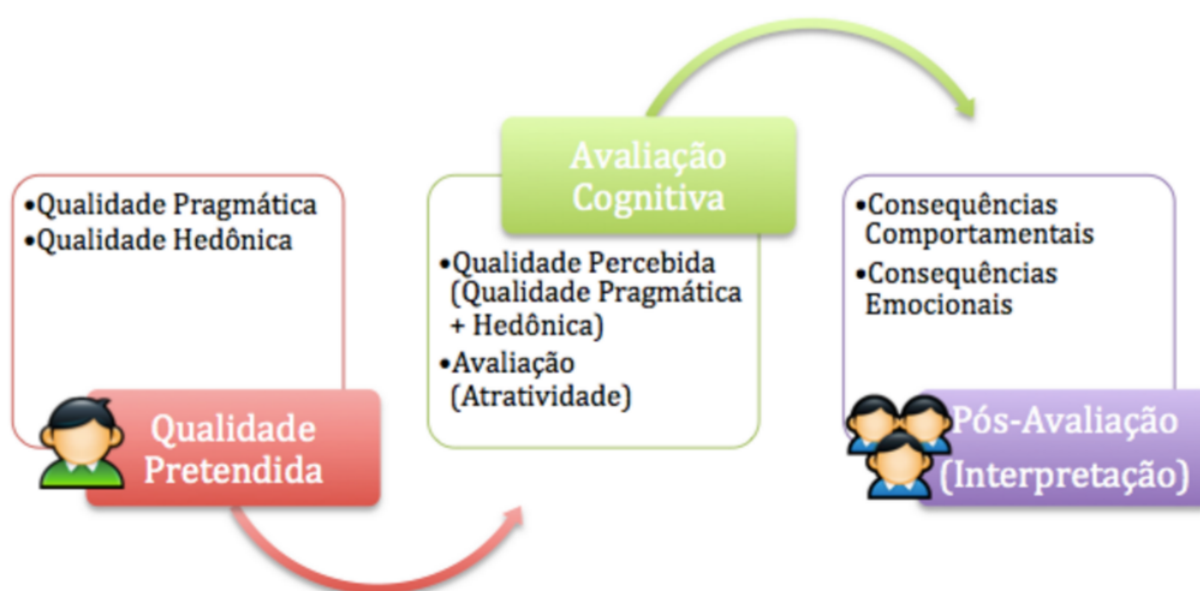


Figura 12 – Relação das dimensões em avaliação de UX.

Fonte: Adaptado de [www.attrakdiff.de/science-en.html](http://www.attrakdiff.de/science-en.html)

### 2.3.2 MOS: Mean Opinion Score

Outro instrumento de avaliação é o **MOS** (do inglês "*Mean Opinion Score*") . A International Telecommunication Union (ITU) definiu a pontuação de opinião ("opinion score") como o "valor em uma escala predefinida que um indivíduo atribui à sua opinião sobre o desempenho de um sistema" (ITU-T Rec. P.10). Em termos práticos, o MOS permite a avaliação de qualidade de mídia, retornando um valor numérico. Tem tido sucesso no domínio da qualidade da voz e, conseqüentemente, também tem sido utilizado para outras modalidades, como áudio, imagens, vídeo e conteúdos audiovisuais. (STREIJL; WINKLER; HANDS, 2016).

Por exemplo, em telecomunicação ele é usado para avaliar o funcionamento dos CODECS (compressores de áudio e vídeo). Durante a transmissão da mídia, é possível extrair dados como latência e perda de pacotes e estimar o valor MOS, podendo identificar falha na transmissão devido ao CODEC, tal técnica é conhecida como MOS objetivo e subjetivo.

Existem inúmeras recomendações da ITU para mensurar qualidade de mídias para diferentes domínios de áudio e vídeo como telefone e televisão. Neste trabalho será exemplificado a recomendação T-REC-P.85. Este modelo é usado para avaliação de qualidade de voz em telefonia.

São determinados os seguintes temas: impressão geral, esforço auditivo, problemas de compreensão, articulação, pronúncia, taxa de fala, voz agradável e aceitação. Para cada tema é elaborada uma pergunta e uma escala que varia de 1 a 5, onde 1 é resposta negativa e 5 resposta positiva.

Há dois modelos de questionários, o tipo I e tipo Q, os dois englobam os temas: impressão geral e aceitação. O tipo I ainda engloba: esforço auditivo, problemas de compreensão e articulação (modelo do tipo I na Figura 13) e o modelo tipo Q ainda engloba os temas: pronúncia, taxa de fala e voz agradável (modelo do tipo Q na 14).

<p><b>Overall impression</b></p> <p><i>How do you rate the quality of the sound of what you have just heard?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Excellent</p> <p><input type="checkbox"/> Good</p> <p><input type="checkbox"/> Fair</p> <p><input type="checkbox"/> Poor</p> <p><input type="checkbox"/> Bad</p>		
<p><b>Listening effort</b></p> <p><i>How would you describe the effort you were required to make in order to understand the message?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Complete relaxation possible; no effort required</p> <p><input type="checkbox"/> Attention necessary; no appreciable effort required</p> <p><input type="checkbox"/> Moderate effort required</p> <p><input type="checkbox"/> Effort required</p> <p><input type="checkbox"/> No meaning understood with any feasible effort</p>	<p><b>Comprehension problems</b></p> <p><i>Did you find certain words hard to understand?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Never</p> <p><input type="checkbox"/> Rarely</p> <p><input type="checkbox"/> Occasionally</p> <p><input type="checkbox"/> Often</p> <p><input type="checkbox"/> All of the time</p>	<p><b>Articulation</b></p> <p><i>Were the sounds distinguishable?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Yes, very clear</p> <p><input type="checkbox"/> Yes, clear enough</p> <p><input type="checkbox"/> Fairly clear</p> <p><input type="checkbox"/> No, not very clear</p> <p><input type="checkbox"/> No, not at all</p>
<p><b>Acceptance</b></p> <p><i>Do you think that this voice could be used for such an information service by telephone?</i></p> <p><input type="checkbox"/> Yes</p> <p><input type="checkbox"/> No</p>		
<p><b>Observations:</b></p>		

Figura 13 – Modelo de avaliação MOS tipo I.

Fonte: T-REC-P.85

<p><b>Overall impression</b></p> <p><i>How do you rate the quality of the sound of what you have just heard?</i></p> <p> <input type="checkbox"/> Excellent  <input type="checkbox"/> Good  <input type="checkbox"/> Fair  <input type="checkbox"/> Poor  <input type="checkbox"/> Bad         </p>		
<p><b>Pronunciation</b></p> <p><i>Did you notice any anomalies in pronunciation?</i></p> <p> <input type="checkbox"/> No  <input type="checkbox"/> Yes, but not annoying  <input type="checkbox"/> Yes, slightly annoying  <input type="checkbox"/> Yes, annoying  <input type="checkbox"/> Yes, very annoying         </p>	<p><b>Speaking rate</b></p> <p><i>The average speed of delivery was:</i></p> <p> <input type="checkbox"/> Much faster than preferred  <input type="checkbox"/> Faster than preferred  <input type="checkbox"/> Preferred  <input type="checkbox"/> Slower than preferred  <input type="checkbox"/> Much slower than preferred         </p>	<p><b>Voice pleasantness</b></p> <p><i>How would you describe the voice?</i></p> <p> <input type="checkbox"/> Very pleasant  <input type="checkbox"/> Pleasant  <input type="checkbox"/> Fair  <input type="checkbox"/> Unpleasant  <input type="checkbox"/> Very unpleasant         </p>
<p><b>Acceptance</b></p> <p><i>Do you think that this voice could be used for such an information service by telephone?</i></p> <p> <input type="checkbox"/> Yes  <input type="checkbox"/> No         </p>		
<p><b>Observations:</b></p>		

Figura 14 – Modelo de avaliação MOS tipo Q.

Fonte: T-REC-P.85



### 3 ESTADO DA ARTE: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Utilizou-se o método de **Revisão Sistemática de Literatura** (RSL) (PETERSEN et al., 2008) como base para o delimitação deste estudo no desenvolvimento das duas RSL, a primeira de análise dos métodos/ferramentas de avaliação empregados em TUI e a segunda de análise da presença de aplicações de TUIs em museus.

A RSL é uma metodologia de análise exploratória, através de engenhos de busca, em bases consolidadas de artigos científicos. Seguindo protocolos específicos que possibilitam a criação de uma massa crítica sobre o que foi publicado/pesquisado em uma determinada área do conhecimento.

As principais etapas previstas pela metodologia da RSL são:

- Definição de questões de pesquisa;
- Elaboração da *string* de busca;
- Pesquisa por artigos relevantes;
- Seleção de artigos;
- Classificação dos artigos;
- Extração e mapeamento de dados.

Uma característica importante da RSL é que todos os procedimentos executados devem ser registrados, de modo que o estudo realizado possa ser reproduzível por outros pesquisadores e, que estes consigam alcançar os mesmos resultados encontrados no período da pesquisa. Com a aplicação deste processo, espera-se minimizar ou justificar a ausência de trabalhos que poderiam ser considerados importantes dentro do levantamento bibliográfico realizado (FELIZARDO et al., 2017).

Para melhor sistematização dessa RSL utilizou-se como ferramenta o software StArt (*State of the Art through Systematic Review*) <sup>1</sup> (FABBRI et al., 2016), o qual permite a criação, execução, seleção e extração de dados de modo organizado e processual, dentro de um software de gerenciamento de informação que pode ser compartilhado num grupo de pesquisadores.

---

<sup>1</sup>Ferramenta de apoio ao planejamento e execução de revisões sistemáticas. Disponível em: <http://lapes.dc.ufscar.br/tools/>

### 3.1 Primeira RSL: Metodologias de avaliação para TUI

No trabalho (COSTA et al., 2018) foi realizada uma RSL a fim de identificar as principais metodologias de avaliação que estão sendo aplicadas as TUIs. A definição e aplicação do protocolo foi feita entre **Janeiro e Maio de 2018**, por um grupo de três pesquisadores, na Universidade Federal de Pelotas - RS (UFPel), com o principal objetivo de **delimitar o estado da arte sobre os métodos de avaliação em TUIs**

Como base nesse objetivo elencou-se 3 perguntas gerais a serem respondidas nos artigos levantados:

- (a) Quais as abordagens utilizadas na avaliação de TUI?
- (b) Quais são os instrumentos/ferramentas elencados para cumprir o objetivo proposto na avaliação dessa TUI?
- (c) Qual o gênero de aplicação TUI (ISHII, 2008b) avaliado no artigo em análise?
- (d) Público alvo principal envolvido no processo de avaliação?

Após a definição do objetivo e das questões de pesquisa, o protocolo do RSL prevê a especificação de um conjunto de palavras-chave para gerar uma *string* de busca a ser aplicada a indexadores científicos, e assim recuperar uma série de artigos relacionados ao objetivo da pesquisa e que possam responder as questões elaboradas. Abaixo a *string* de busca gerada, com base em um conjunto de palavras-chave definidas a partir das mais recorrentes encontradas nos artigos preliminarmente elencados na pesquisa:

**("TUI"OR "tangible user interface"OR "tangible interface") AND ("evaluate"OR "evaluation"OR "evaluating") AND ("UX"OR "usability"OR "communicability")**

Esta *string* de busca foi aplicada sobre indexadores científicos que retornaram a coleta dos artigos. Neste mapeamento, especificamente, foram adotados os seguintes Mecanismos de Busca Acadêmica (MBA):

- *ACM Digital Library*<sup>2</sup>;
- *IEEE Xplore Digital Library*<sup>3</sup>;
- *Science Direct*<sup>4</sup>;
- *Springer*<sup>5</sup>.

---

<sup>2</sup><http://dl.acm.org>

<sup>3</sup><http://ieeexplore.ieee.org>

<sup>4</sup><http://www.sciencedirect.com>

<sup>5</sup><http://link.springer.com/>

Estes MBA foram selecionados por agregarem uma quantidade considerável de trabalhos dentro da área de pesquisa considerada e terem disponibilidade de acesso dentro das Instituições nas quais se desenvolveu a RSL. Cabe ressaltar que cada engenho apresenta uma sintaxe particular na sua estrutura de *string* de busca, sendo necessária adaptações a cada um desses.

Com o intuito de restringir a quantidade de trabalhos recuperados nesta etapa de seleção, para posterior extração dos dados, alguns critérios foram utilizados para exclusão/inclusão de artigos.

Critérios de inclusão de artigos:

- Artigos completos;
- Publicados a partir de 2013;
- Apresentar alguma aplicação em TUI com um processo de avaliação;
- Prioritariamente na língua inglesa;

Critérios de exclusão de artigos:

- Livro completo, resumo, poster ou artigo curto;
- Ser focado em outra área de pesquisa que não a de discussão de IHC;
- Artigo apresenta aplicação TUI, mas não apresenta o processo de avaliação;

Também foram incluídos, de forma manual, os artigos publicados nos anais do evento **Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC)**, entre 2013 e 2018, que apresentassem as palavras chaves elencadas na *string*, privilegiando também a produção local ainda não indexada nos MBA.

### 3.1.1 Resultados

A etapa de execução da busca, através do protocolo anteriormente definido, foi realizada sobre os MBA e apresentou como resultado **703 referências bibliográficas**, as quais foram recuperadas e armazenadas na ferramenta StArt. O conjunto total de artigos resultante desta fase inicial, classificados de acordo com o engenho de busca utilizado, é apresentado na Tabela 1.

<b>Engenho de Busca</b>	<b>resultado bruto</b>	<b>selecionados</b>
ACM Digital Library	10	4
IEEE Xplore Digital	3	0
Science Direct	230	11
Springer	455	33
IHC	5	2
<b>Total</b>	<b>703</b>	<b>50</b>

Tabela 1 – Distribuição dos artigos encontrados em cada MBA



2018. Percebe-se, desse modo, que é recorrente a publicação de resultados científicos e o interesse nas pesquisas com aplicações em TUI, as quais apresentam com detalhamento os seus processos avaliativos.

De modo objetivo, buscou-se responder todas as perguntas de pesquisa elencadas anteriormente no protocolo, com a leitura completa dos artigos e extração desses dados através da ferramenta StArt, demonstrando e discutindo os resultados a seguir.

#### (a) Quais as abordagens utilizadas na avaliação de TUI?

Como demonstrado na Figura 16, a maioria dos artigos utiliza a abordagem focada em **usabilidade**, como base das avaliações. Com isso verifica-se o funcionamento da tecnologia, tal como projetado, avaliando sua eficiência/eficácia no envolvimento direto com o usuário.

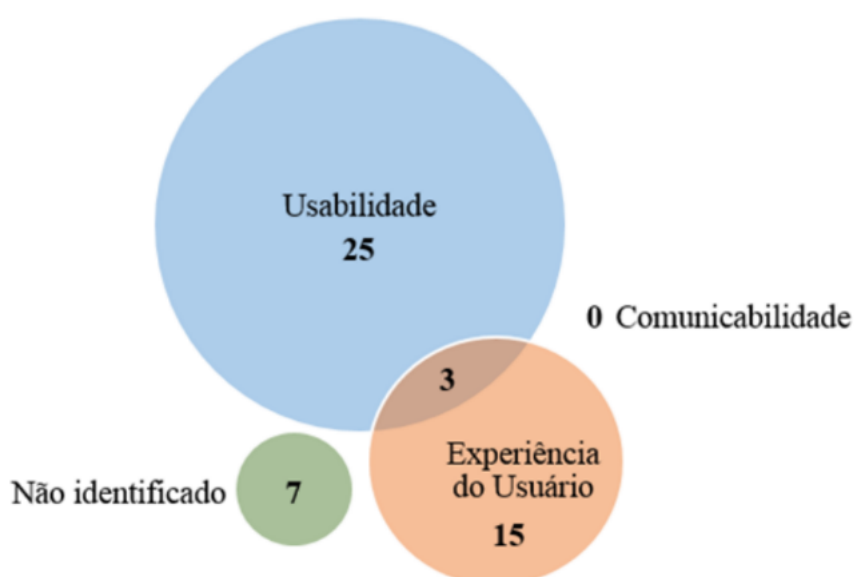


Figura 16 – Abordagens de avaliação utilizadas nos artigos selecionados

Os fatores envolvidos nessa abordagem estão diretamente ligados ao modo como o usuário emprega sua capacidade cognitiva no processo de interação, tendo facilidade de aprender e memorizar determinadas ações, segurança, eficiência e satisfação de uso dessa interface (NIELSEN, 1994).

Os artigos listados que trabalham com abordagem focada em usabilidade são: (BESANcON et al., 2017), (ANTONIJOAN; MIRALLES, 2016), (GARCIA-SANJUAN et al., 2015), (SUZUKI; SATO; HAYAMI, 2014), (LUBOS et al., 2015), (IONITA et al., 2015), (BONILLO et al., 2016), (ANGELINI et al., 2013), (MAQUIL; TOBIAS; LATOUR, 2015), (MORA; DI LORETO; DIVITINI, 2015), (AYALA et al., 2015), (ALMUKADI; BOY, 2016), (JADÁN-GUERRERO; LÓPEZ; GUERRERO, 2014), (BRUUN;

JENSEN; KRISTENSEN, 2014), (BLAGOJEVIC; PLIMMER, 2013), (HOTTA; OKA; MORI, 2014), (JONES; MAQUIL, 2016), (HOE et al., 2017), (BONILLO et al., 2017), (MAQUIL et al., 2018), (SAPOUNIDIS; DEMETRIADIS, 2013), (SYLLA et al., 2015), (GUERLAIN; CORTINA; RENAULT, 2016), (SEO; LEE, 2013), (PARK; MOON, 2013), (SUN; WU, 2015), (SKULMOWSKI et al., 2016) e (ZUCKERMAN; GAL-OZ, 2013).

Já a **Experiência de Usuário** foi a segunda abordagem mais utilizada e está ligada não somente a facilidade de uso de uma interface, mas também engloba as percepções, sentimentos dos usuários diante do seu relacionamento com um sistema computacional. Desse modo a usabilidade assume um campo mais abrangente de avaliação que passa de dados quantitativos de eficiência para análises qualitativas dos processos avaliativos (BARBOSA; SILVA, 2010).

Esses são os artigos listados que trabalham com abordagem focada em Experiência do Usuário: (LUBOS et al., 2015), (HE et al., 2016), (YANNIER; KOEDINGER; HUDSON, 2013), (DE CROON et al., 2017), (TEH; NG; PARHIZKAR, 2015), (TRIANTAFYLIDOU et al., 2017), (AYALA et al., 2015), (GUPTA et al., 2014), (DUCKWORTH et al., 2015), (VAN CAMP; VAN CAMPENHOUT; DE BRUYNE, 2017), (WANG; HE; DOU, 2014), (BOUABID; LEPREUX; KOLSKI, 2017), (WALTHER; BÆRENTZEN; AANÆS, 2016), (LEE; WU; CHEN, 2017), (SKULMOWSKI et al., 2016) e (ALRASHED et al., 2015).

Sete artigos apresentaram testes que não permitiram uma categorização sobre a abordagem de avaliação utilizada: (LI et al., 2017), (LEVERSUND; KRZYWINSKI; CHEN, 2014), (SHEN; LU, 2014), (ANASTASIOU; RAS, 2016), (POMBOZA-JUNEZ; HOLGADO-TERRIZA; MEDINA-MEDINA, 2017), (ANASTASIOU; MAQUIL; RAS, 2014), (TADA; TANAKA, 2015). Sendo que a maioria destes aplicou somente testes funcionais de validação de uso das tecnologias desenvolvidas. Nenhum dos trabalhos listados utilizou a abordagem da **Comunicabilidade** durante a aplicação dos processos de avaliação das TUI.

Dos artigos listados, três deles conjugaram a abordagem de Usabilidade e de Experiência de Usuário, utilizando como ferramenta principal de avaliação um questionário. (LUBOS et al., 2015) (AYALA et al., 2015) (SKULMOWSKI et al., 2016)

O artigo (LUBOS et al., 2015) é um bom exemplo dessa abordagem conjunta, pois apresenta um cenário de testes de avaliação sobre *affordances* com percepções espaciais tridimensionais percebidas na interação através de mesas interativas. Ao mesmo tempo que apresenta-se testes de eficiência/eficácia com performances e taxas de erros de modo quantitativo, com uso de protocolos específicos, existe a preocupação com a percepção das sensações no uso da aplicação. Isso fica evidenciado na utilização de ferramentas de mensuração de atratividade, e com o cuidado dispensado com características que ultrapassam o questionário padrão utilizado, tais como altura e tamanho dos braços dos participantes, por exemplo.

**(b) Quais são os instrumentos/ferramentas elencados para cumprir o objetivo proposto na avaliação dessa TUI?**

De uma maneira geral existe um universo bem distinto de tipos de instrumentos que foram utilizados para o cumprimento do objetivo de avaliação, dentro de uma determinada abordagem proposta.

Conforme apresentado na Tabela 2, o uso de entrevistas (estruturadas ou semi-estruturadas), questionários e a observação dos especialistas foram as ferramentas/instrumentos mais utilizados na aplicação das avaliações retornadas nos artigos da RSL.

<b>Tipo de ferramenta para avaliação</b>	<b>Quantidade artigos</b>
Entrevista	10
Questionário	24
Observação	28
Pense alto	5
Outro	2

Tabela 2 – Instrumentos/ferramentas de avaliação utilizadas nos artigos selecionados

O gráfico representativo na Figura 17 relaciona as abordagens de avaliação empregadas em relação a ocorrência das ferramentas ou instrumentos utilizados para cumprimento dos objetivos propostos.

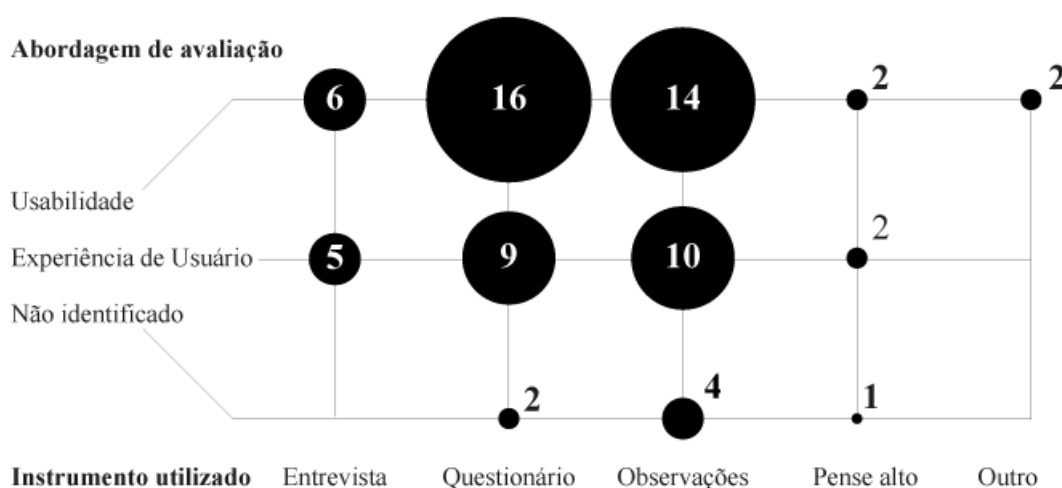


Figura 17 – Abordagens de avaliação vs. Instrumentos de avaliação apresentados nos artigos selecionados

As entrevistas normalmente foram utilizadas de forma semi estruturada, com algumas perguntas chaves e outras livres, com o objetivo de avaliar como um determinado grupo de usuários se sentiu com relação a execução de determinadas tarefas na apli-

cação usando a TUI, ou em como eles se sentiram em termos de experiência de usuário.

Um exemplo de uso desse instrumento foi com o artigo (AYALA et al., 2015), no qual o objetivo da aplicação foi melhorar as condições de aprendizagem de crianças com dislexia e transtorno de atenção manipulando objetos numa TUI. Nesse cenário um questionário simplificado com crianças, no nível "gostou ou não gostou", conjugado com entrevistas aplicadas a educadores que auxiliaram no projeto pedagógico da aplicação, permitiu uma avaliação mais apurada dos diversos agentes envolvidos no processo de interação.

Grupos focais também foram utilizados em (LEE; WU; CHEN, 2017), (IONITA et al., 2015) e (GUERLAIN; CORTINA; RENAULT, 2016) como forma de gerar uma qualidade observacional colaborativa em conjunto com as entrevistas. Os grupos focais são uma tendência relativamente recente, já que o primeiro artigo a registrar seu uso, nesse contexto específico de avaliação de TUI, em 2015.

Mesmo relevantes as entrevistas tiveram uma ocorrência bem menor de utilização nos artigos selecionados em relação ao uso de questionários e de observação do processo por especialistas.

Com relação ao uso de questionários, diversos padrões já estabelecidos surgiram na extração de dados dos artigos, tal como o Sistema de Escala de Usabilidade (*Scale Usability System* - SUS) (BROOKE, 1996) que permite mensurar o nível de usabilidade de uma aplicação, foi utilizado em (BRUUN; JENSEN; KRISTENSEN, 2014) e também em (GUERLAIN; CORTINA; RENAULT, 2016) em conjunto com o grupo focal. Outro modelo de questionário que foi recorrente foi o AttrackDiff (HASSENZAHN; BURMESTER; KOLLER, 2003), que tem por objetivo ser um instrumento para medir a atratividade de produtos interativos e a relação dos mesmos com a experiência que os usuários tiveram. Esse instrumento foi utilizado em (LUBOS et al., 2015), (SKULMOWSKI et al., 2016) e (DARLEY et al., 2017a).

A técnica de observação foi a mais referenciada nos artigos finais selecionados e a representação do gráfico da Figura 17 dá indícios que existe uma relação de uso desse instrumento de forma complementar ao uso de questionários. Isso justifica-se na medida que questionários focam em percepções geradas pelos usuários, enquanto as observações são organizadas pelos especialistas e mediadores do processo de avaliação.

Um exemplo disso é o artigo (TRANTAFYLLIDOU et al., 2017) que utilizou os conceitos de "gamificação" para ensino de história a estudantes do ensino fundamental com uso de uma aplicação de realidade aumentada numa TUI. Utilizou-se um questionário avaliativo do processo de interação com os alunos e realizou-se a observação direta de uso da aplicação por parte dos especialistas que gravaram todas as seções de teste.



### (c) Qual o gênero de aplicação TUI avaliado no artigo em análise?

Conforme as definições dadas em (ISHII, 2008b) e percorridas anteriormente nesse artigo, o principal eixo das aplicações são as focadas em mesas interativas (20 artigos) e em utilização de materiais maleáveis (18 artigos).

Aplicações que envolvem memória de movimento tangível, utilização de *tokens*, realidade aumentada sobre objetos reais e ambientes digitais tangíveis também representaram um grande grupo de soluções propostas (7 artigos cada uma).

Normalmente essas soluções que envolveram o uso de mesas interativas, ou materiais maleáveis, tiveram aplicações conjugadas, como uso de *tokens* ou realidade aumentada, potencializando desse modo o processo de interação. Como exemplo disso tem-se a aplicação apresentada em (DARLEY et al., 2017a) - AR Sandbox - que utiliza um material maleável para entrada e saída de dados (caixa com areia) relacionado ao uso da realidade aumentada que é projetada sob esse material como um *feedback* visual.

Algumas aplicações mais específicas utilizaram objetos digitais tangíveis, ou seja, objetos físicos que recebem a entrada de dados neles mesmos, ou através da interpretação desses dados por uma rede de sensores, gerando a saída no próprio objeto. Isso foi o proposto por (ANTONIJOAN; MIRALLES, 2016) que desenvolveu uma TUI para controle de um brinquedo com uso de rede de sensores que captam os movimentos dos usuários, gerando o *feedback* disso no objeto físico boneco.

### (d) Público alvo principal envolvido no processo de avaliação?

Grande parte das soluções com TUI desenvolvidas é direcionada a contextos educacionais e de estímulo de colaboração para o aprendizado. Nesse sentido as crianças ganham relevância tanto na ocorrência do uso da palavra no título dos artigos (Figura 15) como também de perfil de usuário para avaliações nos testes das aplicações.

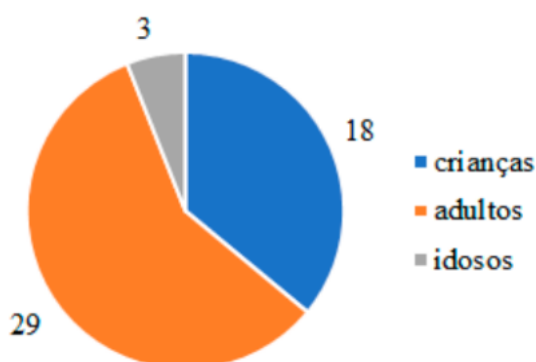


Figura 18 – Público alvo das aplicações TUI nos artigos referenciados na RSL e que participaram do processo de avaliação.

Diversas dessas soluções tentam conjugar conceitos de jogos eletrônicos a pro-

cessos de aprendizagens, como já citado em (TRANTAFYLLIDOU et al., 2017) ou em (AYALA et al., 2015), proposição de ferramenta com uso de TUI para ensino de geometria.

Cenário de contexto de avaliação envolvendo adultos prevalece, sendo que nesse contexto as ferramentas de avaliação são de mais fácil aplicação pelo retorno de dados mais apurado. Normalmente os testes tentam avaliar questões de uso específicas, como de melhora/ou não no uso da TUI como ferramenta de tomada de decisão estratégica, como por exemplo aplicado em (GUERLAIN; CORTINA; RENAULT, 2016), que propõe uma aplicação de uso colaborativo numa mesa interativa para planejamento de rotas logísticas em grandes centros urbanos.

Somente 3 artigos (SUZUKI; SATO; HAYAMI, 2014)(DE CROON et al., 2017) (HOE et al., 2017) referenciam o uso de público idoso para perfil de usuário nos testes. São aplicações de uso específico para preocupação com questões próprias dessa faixa etária, tal como de visualização para auxílio no uso de medicação, proposto em (SUZUKI; SATO; HAYAMI, 2014), por exemplo.

### **3.1.2 Discussão dos resultados**

Na maioria dos artigos não aplicou-se somente uma ferramenta única de avaliação dentro de uma abordagem definida. Buscou-se sempre, nos testes propostos, o uso de mais de um instrumento avaliativo de modo a complementar ou dar mais segurança dos resultados gerados. Essa utilização de mais de uma abordagem evidencia a preocupação maior de não ter só o olhar da eficiência da aplicação do ponto de vista do projetista, mas também da percepção do usuário sobre a utilização do sistema. Nesse ponto cresce o uso de instrumentos que permitam a colaboração dos usuários durante o próprio processo de avaliação.

Não existiu uma correlação exata entre uma determinada abordagem de avaliação de aplicação TUI e um pacote específico de instrumentos. O que se percebeu é que conforme os objetivos propostos, o cenário de uso ou o perfil de usuários (por exemplo, crianças) define-se quais instrumentos serão usados. No que tange particularmente a avaliação com crianças, por exemplo, os relatos dos artigos apontam as dificuldades inerentes ao uso de questionários ou de ferramentas mais específicas, necessitando o envolvimento de outros profissionais especialistas no auxílio do processo de avaliação.

Mesmo que em qualquer processo de prescrição de uma abordagem avaliativa, de qualquer tipo de interface, deva-se considerar o contexto de uso, perfil de usuários, etc, nenhum dos artigos selecionados propõe alguma ferramenta específica de avaliação que considere as características mais gerais do processo de interação com TUI, tampouco adaptações das ferramentas existentes e que foram desenvolvidas segundo outros critérios.

A utilização da habilidade motora dos usuários, dentro de um espaço físico com

manipulação direta da entrada e saída de dados do sistema computacional no mesmo local, não é refletida em nenhum dos processos/instrumentos de avaliação utilizados nas aplicações dos artigos apresentados na RSL.

Alguns artigos traçam breves observações sobre alguns pontos tais como: altura dos elementos para alcance da mãos dos usuários, disposição e iluminação do ambiente, design dos elementos e uso de materiais mais adequados para aquela interação, etc., contudo nenhuma avaliação considerou essas particularidades ou o como a alteração delas pode impactar no processo geral.

A não adoção por nenhum dos artigos da abordagem de Comunicabilidade, a qual justamente privilegia a participação direta dos usuários na identificação de falhas de comunicação de um projeto de interface no tempo de interação, chama a atenção. Isto apresenta uma oportunidade para testes de uso dentro dessa abordagem nesse contexto de uso, já que permite de modo colaborativo a avaliação de uma determinada aplicação sob ponto de vista dos usuários em grupo.

O perfil de público alvo dos usuários que são envolvidos nos testes com TUI impacta diretamente nos instrumentos ou técnicas a serem adotadas no processo de avaliação, sendo que chamou a atenção o uso de questionários personalizados em relação aos testes aplicados com crianças.

Além desse fator de perfil de usuário, pode-se perceber uma certa tendência de uso de certos instrumentos de avaliação atrelados a determinados gêneros de aplicação de TUI. Dos 20 artigos que apresentaram aplicações de mesas interativas, por exemplo, 18 deles usam instrumentos conjugados de entrevista com observações (6 questionário e 12 observações). A hipótese que justifica essas escolhas é que a situação de vários usuários ao redor de uma mesa favorece a análise dos especialistas que em tempo real extraem suas percepções, relacionando-as aos dados gerados nos questionários respondidos pelos usuários.

As aplicações feitas com interações tangíveis com materiais maleáveis também tiveram a mesma tendência, sendo que das 18 aplicações desse gênero, 7 delas aplicaram questionários e 15 usaram observações, o que evidencia que várias avaliações usaram de modo conjunto esses dois instrumentos.

Outro aspecto importante é que entre todos os artigos selecionados, mesmo os envolvidos na fase inicial (703 referências), nenhum deles propõe-se discutir os processos de avaliação específicos com interações tangíveis ou faz uma revisão sobre a aplicação de diversos métodos já existentes em TUI.

A RSL não retornou nenhum artigo com uma revisão teórica, ou um *survey*, sobre a questão de pesquisa específica proposta nesse artigo de delimitar o estado da arte dos processos de avaliação em aplicações com TUI.

### 3.2 Segunda RSL: TUI em Museus

Visto que as TUIs constituem aplicações que se interage com elementos e em diversos casos com outras pessoas também de forma colaborativa, é relevante levar em consideração o ambiente em que a aplicação será inserida. Visto isso, um estudo de caso é pensado: **Estado da arte sobre o uso de interações tangíveis em espaços museais.**

Com base neste objetivo, a seguintes questões de pesquisa são elencada para guiar o estudo:

- (a) Quais domínios da TUI estão nas exposições?
- (b) Quais temáticas do museus as TUIs estão inseridas?
- (c) Para quais público-alvo são estas aplicações?

Esta RSL foi elaborada sob a string de busca que permite encontrar trabalhos que apresentaram aplicação TUI em museus:

**(HCI AND (TUI OR "tangible interaction") AND museum)**

A string de busca foi aplicada nos seguintes MBA:

- *ACM Digital Library*
- *IEEE Xplore Digital Library*
- *COMUNICAD* <sup>6</sup>

Utilizando a ferramenta StArt, foi elaborado o protocolo que armazenou os artigos para serem selecionados e classificados. Dentro deste protocolo para restringir a quantidade de trabalhos, foram elencados os seguintes critérios para exclusão dos artigos:

- Anterior a 2015;
- Não apresenta aplicação de TUI em museus;
- Não apresenta resultados;
- Ser short paper/poster/resumo/workshop/livro;
- Estudo primário (revisão/teórico);
- Não ter acesso ao estudo;

Para classificação dos artigos, foram elencados as seguintes questões qualitativas de acordo com as questões de pesquisa:

---

<sup>6</sup><https://comunicad.com/>

- Domínio da aplicação: Materiais Maleáveis, Realidade Aumentada em Objetos Reais, de Construção, *Token*, Ambiente Digital Tangível, Mesa Interativa e Memória de Movimento Tangível (ISHII, 2008a);
- Público-alvo da aplicação: Criança, adultos, idosos e todos (ou que não apresenta restrição de idade);
- Temática do Museu/Exposição: Arqueológico, Arte, História e outro.

### 3.2.1 Resultados

A aplicação da *string* de busca nos engenhos de busca retornou em **421 artigos** que foram importados para a aplicação *StaArt*. Na aplicação verificou-se que destes, 13 artigos eram duplicados e portanto foram excluídos. No primeiro ciclo, filtragem de seleção, os 421 artigos passaram pelos critérios de exclusão, resultando em **34 artigos** aceitos para serem classificados.

Iniciou-se então o segundo ciclo, filtragem de extração. Os 34 artigos passaram por leitura completa para e foram classificados em público-alvo gênero de aplicação e temática da exibição/museu (arte, história, ciência, arqueologia e outro).

Entre os 34 artigos as informações de ano de publicação é que foram publicados 6 em 2015, 9 em 2016, 11 em 2017, 3 em 2018 e 5 em 2019. Portanto, percebe-se um aumento nos anos de 2016 e 2017, totalizando 20 trabalhos nestes dois anos.

Classificando os artigos através das questões de pesquisa elencadas dentro do *StArt*, seguem as respostas:

#### (a) Quais domínios da TUI estão nas exposições?

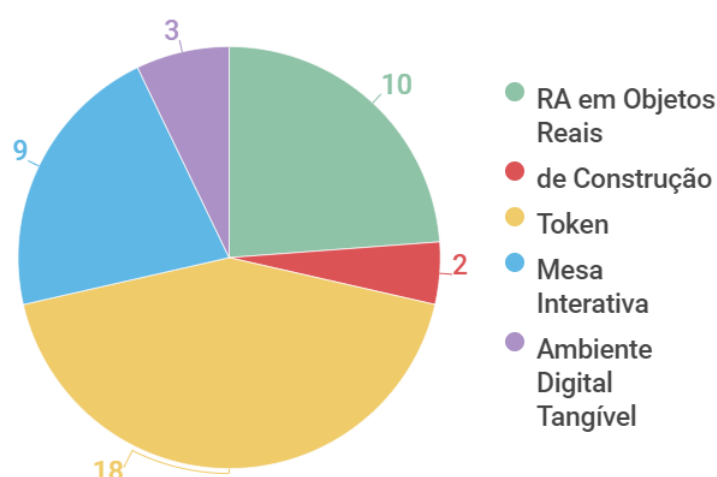


Figura 19 – Domínio da aplicação das TUIs em Museus/Exibições

A classificação do gênero das aplicações foi feita conforme apresentado em (ISHII, 2008b). Conforme a Figura 19 grande parte das aplicação são de **Tokens** (18 artigos), onde a interação se dá a partir do reconhecimento de Figuras e objetos como

elemento digital (*smartcard*). Os artigos que apresentaram aplicações desse gênero são: (VAZ; FERNANDES; VEIGA, 2016), (NOFAL; REFFAT; MOERE, 2017), (NOT et al., 2019), (LU et al., 2019), (MAQUIL; MOLL; MARTINS, 2017), (NOT et al., 2017), (CHU et al., 2015), (LOPAREV et al., 2016), (MARSHALL et al., 2016), (ESCOBAR VARELA; YONG EN, 2017), (MA et al., 2015), (LONG et al., 2019), (CESÁRIO et al., 2017), (HAYES; O'KEEFFE; HOGAN, 2017), (XAMBÓ et al., 2017), (RADETA et al., 2017), (PETRELLI et al., 2017) e (ZHANG; ZHU; YUN, 2016).

Em seguida tem-se **RA em Objetos Reais** em 10 artigos como segundo domínio de aplicação mais apresentado. Neste gênero são adicionados elementos digitais de imagem e som sob o objeto de interação. Os artigos que apresentaram aplicação deste gênero são: (NASCIMENTO et al., 2015) (BARBER et al., 2017), (VAZ; FERNANDES; VEIGA, 2018), (HOGAN et al., 2015), (GERVAIS et al., 2016), (LEE et al., 2015), (KWAN et al., 2016), (CHU et al., 2016), (CECONELLO, 2018) e (DIMITROPOULOS et al., 2018).

Aplicações de interação em **Mesas Interativas** são apresentadas em 9 artigos. Nessa a estrutura de mesa permite que usuários interajam com a aplicação através de movimentos de toque e/ou com objetos físicos sob a mesa. Os artigos que apresentam aplicações deste tipo são: (KRIETEMEYER; BARTOSH; COVINGTON, 2019), (LU et al., 2019), (CHU et al., 2015), (LOPAREV et al., 2016), (MUNTEAN et al., 2016), (MA et al., 2015), (LONG et al., 2019), (YNNERMAN et al., 2016) e (XAMBÓ et al., 2017). Dos 9 artigos deste gênero, 6 deles também foram classificados com gênero de Token, visto que além da aplicação ter a interação em mesa tangível, o objeto de interação também se constituía de Token. Os 6 artigos com esta dupla classificação são: (LU et al., 2019), (CHU et al., 2015), (LOPAREV et al., 2016), (MA et al., 2015), (LONG et al., 2019), (XAMBÓ et al., 2017).

O gênero de aplicação **Ambiente Digital Tangível**, que cria um ambiente onde a interação do usuário com objetos gera feedback digital, apresentou-se em 3 artigos aplicação, são eles: (POLLALIS et al., 2018), (MORREALE; DE ANGELI, 2015), (CECONELLO, 2018) e ().

Por fim, apresentaram aplicações de Construção apenas 2 artigos, que são (BEHESHTI et al., 2017) e (HAYES; O'KEEFFE; HOGAN, 2017).

#### **(b) Quais temáticas do museus as TUIs estão inseridas?**

Grande parte dos museus são locais turísticos que apresentam a história e cultura da cidade em que está localizado. Dessa forma, dos resultados tem-se que a maioria das aplicações foram instaladas em museus e exposições de história (12 artigos), que são (BARBER et al., 2017), (NOFAL; REFFAT; MOERE, 2017), (NOT et al., 2019), (MAQUIL; MOLL; MARTINS, 2017), (NOT et al., 2017), (CHU et al., 2015), (MARSHALL et al., 2016), (YNNERMAN et al., 2016), (KWAN et al., 2016), (CHU et al., 2016), (CECONELLO, 2018) e (PETRELLI et al., 2017).

Em seguida tem-se a Ciência como temática em 10 artigos, apresentados em (KRIETEMEYER; BARTOSH; COVINGTON, 2019), (HOGAN et al., 2015), (LOPAREV et al., 2016), (BEHESHTI et al., 2017), (MA et al., 2015), (GERVAIS et al., 2016), (LONG et al., 2019), (LEE et al., 2015), (CESÁRIO et al., 2017) e (RADETA et al., 2017).

Em museus e exposições de arqueologia 5 artigos são apresentados, que são em (VAZ; FERNANDES; VEIGA, 2018), (VAZ; FERNANDES; VEIGA, 2016), (LU et al., 2019), (MUNTEAN et al., 2016) e (POLLALIS et al., 2018).

A temática sobre arte é apresentada em 4 artigos, que são (ESCOBAR VARELA; YONG EN, 2017), (MORREALE; DE ANGELI, 2015), (XAMBÓ et al., 2017) e (ZHANG; ZHU; YUN, 2016).

Outras temáticas são apresentadas em 3 artigos, que são (NASCIMENTO et al., 2015), (HAYES; O'KEEFFE; HOGAN, 2017) e (DIMITROPOULOS et al., 2018).

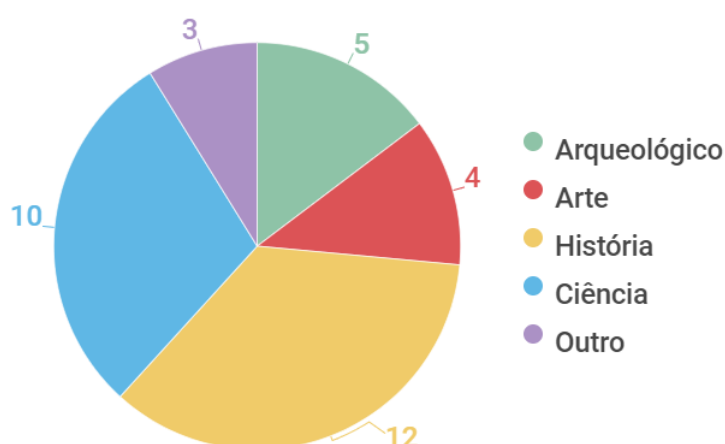


Figura 20 – Temática da Exposição/Museu

### (c) Para qual público-alvo são estas aplicações?

De acordo com a Figura 21, a grande parte das aplicações não tem restrição, ou não informam, a idade do público-alvo (27). Uma parte das aplicações foram desenvolvidas especificamente para crianças (6 artigos), de modo geral são aplicações de cunho educacional e didático.

(LOPAREV et al., 2016), (BEHESHTI et al., 2017), (LONG et al., 2019), (CESÁRIO et al., 2017), (HAYES; O'KEEFFE; HOGAN, 2017) e (RADETA et al., 2017).

### 3.2.2 Discussão dos resultados

Das aplicações percebe-se que a maioria são de Tokes, que utilizam próprios artefatos do museu como elemento de interação e as aplicações de RA em Objetos Reais utilizam projetores para geração de imagem no ambiente ou sob o mesmo objeto de

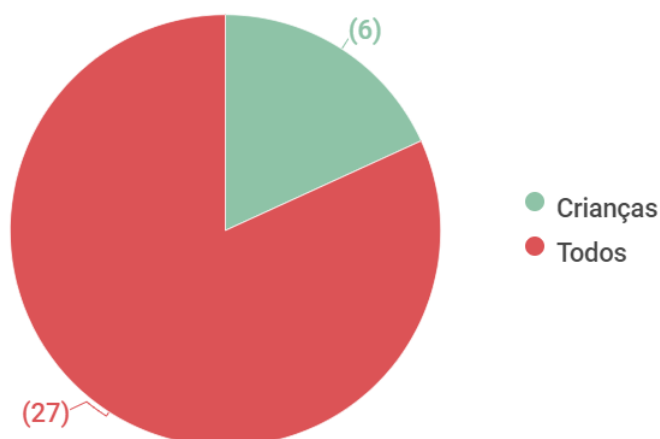


Figura 21 – Público-alvo da TUI em Museus

interação (Token). Os trabalhos (CESÁRIO et al., 2017), (YULE; MACKAY; REILLY, 2015) e (RADETA et al., 2017) desenvolveram jogos que atraem o visitante para o conteúdo da exposição de maneira lúdica. Dos 9 trabalhos que apresentaram mesas interativas, alguns utilizaram Tokens para controle da aplicação.

A maioria das aplicações não tem restrição por estarem em ambientes de acesso público, nos museus das cidades. Como visto na questão anterior sobre a temática destes museus, onde a maioria são de história e arqueologia, subentende-se que geralmente são frequentados por adultos. As aplicações para crianças geralmente são de cunho educacional e lúdico, em um espaço dedicado para atrair a criança. Para oferecer a ela o mesmo conteúdo do adulto mas adaptado a capacidade da criança.

A presença de aplicações digitais em museus oferece aos visitantes uma nova forma de visualizar o conteúdo do museu, através de projeção de imagem, áudio e vídeo. Como em museu de história, por exemplo, os visitantes têm a oportunidade de experimentar as sensações da época, através da representação digital do cenário. É possível elevar as percepções do usuário durante uma visita à exposição, através dessas aplicações digitais ricas em tecnologia.



## 4 EXPERIMENTOS

Como o objetivo deste trabalho é verificar as metodologias de avaliação para TUIs, são apresentados o desenvolvimento e resultados dos experimentos com o AR Sandbox. Foram realizadas avaliações de Usabilidade e UX da interface do AR Sandbox, utilizando a ferramenta AttrackDiff e utilizando MOS.

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Hidrossedimentologia e Solos do curso de Engenharia Hídrica da UFPel, o público-alvo foram os alunos do curso de Engenharia Hídrica e de Computação, não sendo as mesmas pessoas que participaram visto que os testes foram aplicados em épocas diferentes. Os usuários foram convidados a experimentar a aplicação livremente. A estrutura do AR Sandbox permite que até quatro usuários manipulem simultaneamente, o que é interessante para construir situações em atividades colaborativas.

Para as avaliações em ambos procedimentos os questionários tiveram que ser adaptados para se adequar ao domínio de uma aplicação tangível, portanto os termos como: "caixa de areia", "interação", "relevo" e "movimento", tiveram que ser inseridos no processo de avaliação da melhor forma para abranger as características tangíveis do AR Sandbox.

As adaptações dos métodos de avaliação, elaboração e resultado das avaliações são apresentados a seguir.

### 4.1 Avaliação do AR Sandbox com AttrackDiff

A primeira avaliação do AR Sandbox foi realizada em Fevereiro de 2017. A avaliação com usuários utilizando a ferramenta AttrackDiff. Foram elaborados através da ferramenta dois questionários, um para avaliação de usabilidade (VisAWI) e outro para UX. Os questionários em formato de formulário impresso.

#### 4.1.1 Adaptações dos questionários AttrackDiff

Para o **questionário de usabilidade** foram feitas algumas modificações, conforme apresenta a Tabela 3. Modelo do questionário é apresentado no Apêndice A. As per-

Original	Adaptado
The layout appears too dense.	A caixa de areia tem muita informação.
The layout is easy to grasp.	A caixa de areia é fácil de entender.
The layout appears well structured.	A caixa de areia parece ser bem estruturada.
The site appears patchy.	A aplicação não faz sentido.
Everything goes together on this site.	A projeção do mapa topográfico não faz sentido.
The design is uninteresting.	A caixa de areia não é interessante.
The layout is inventive.	A caixa de areia me permite ter novas ideias.
The design appears uninspired.	A ideia da aplicação foi bem pensada.
The layout appears dynamic.	A caixa de areia parece dinâmica.
The layout is pleasantly varied.	A caixa de areia é agradável.
The color composition is attractive.	A composição das cores é atraente.
The colors do not match.	As cores não correspondem ao esperado.
The choice of colors is botched.	A escolha das cores não é adequada/correta.
The colors are appealing.	As cores são atraentes.
The layout appears professionally designed.	A caixa de areia parece profissionalmente projetada.
The layout is not up-to-date.	A caixa de areia não é moderna.
The site is designed with care.	A ideia da aplicação foi bem desenvolvida.
The design of the site lacks a concept.	A aplicação contribuiu para meu conhecimento.

Tabela 3 – Adaptação do questionário de Usabilidade do AttrackDiff.

guntas que continham conteúdo negativo, tais como: "A aplicação não faz sentido", "A projeção do mapa topográfico não faz sentido", "A caixa de areia não é interessante", "As cores não correspondem ao esperado", "A escolha das cores não é adequada/correta" e "A caixa de areia não é moderna", foram trocadas para perguntas com conteúdo positivo, resultando em respectivamente: "A aplicação faz sentido", "A projeção do mapa topográfico faz sentido", "A caixa de areia é interessante", "As cores correspondem ao esperado", "A escolha das cores é adequada/correta" e "A caixa de areia é moderna". Os valores atribuídos para cada destas questões, foram espelhados para o outro lado do gráfico, por exemplo: a questão "A aplicação não faz sentido" tinha 1,1 como valor, com a modificação ela passou a ter 6,9. Portanto as frases modificadas não perderam o significado, mas foram modificadas para gerar resultados melhores de serem interpretados.

Neste formulário cada questão é uma sentença e o usuário marca sua opinião em uma escala que varia de 1 à 7 (4 neutro), onde 1 é "Disagree" e 7 é "Agree", com a adaptação ficou 1 sendo "Discordo fortemente" e 2 sendo "Concordo plenamente".

O **questionário de UX** consiste em pares de adjetivos, cada adjetivo nas extremidades. Modelo do questionário é apresentado no Apêndice B. A escala neste varia os adjetivos opostos de -3 à 3, 0 é neutro. Conforme mostra a Tabela 4, para a adaptação foram traduzidos os adjetivos, sem necessidade de incluir termos da interface, visto que a avaliação UX irá avaliar as percepções dos usuários, pelos adjetivos.

<b>Original</b>	<b>Adaptado</b>
human - technical	técnico - humanizado
isolating - connective	isolado - conectado
pleasant - unpleasant	desagradável - agradável
inventive - conventional	estrutura - simples
simple - complicated	simples - complicado
professional - unprofessional	amador - profissional
ugly - attractive	feio - bonito
practical - impractical	não prático - prático
likeable - disagreeable	não amigável - amigável
cumbersome - straightforward	embaraçoso - objetivo
stylish - tacky	deselegante - elegante
predictable - unpredictable	imprevisível - previsível
cheap - premium	barato - caro
alienating - integrating	alienante - integrador
brings me closer to people - separates me from people	me aproxima das pessoas - me afasta das pessoas
unpresentable - presentable	não apresentável - apresentável
rejecting - inviting	pouco atraente - atraente/convidativo
unimaginative - creative	sem imaginação - criativo
good - bad	bom - ruim
confusing - clearly structured	confuso - bem estruturado
repelling - appealing	enjoativo - viciante
bold - cautious	cauteloso - ousado
nnovative - conservative	convencional - inovador
dull - captivating	entediante - cativante
undemanding - challenging	desafiador/fácil - não exigente
motivating - discouraging	desencorajador - motivador
novel - ordinary	comum - único
unruly - manageable	desobediente - obediente

Tabela 4 – Adaptação do questionário de UX do AttrackDiff

#### 4.1.2 Resultados da avaliação

O experimento contou com a participação de 80 voluntários, dos quais 74 foram alunos de graduação, 2 alunos de mestrado, 3 professores e 1 "outro". Destes 80 voluntários, 43 se consideraram do grupo "Não-especialista" e os 37 restantes se consideraram do grupo "Especialista". E por fim, 22 foram alunos de Computação, alunos que têm proximidade com tecnologia e desenvolvimento de sistemas, e o restante alunos da Engenharia Hídrica e Geológica, alunos que tem proximidade com conceito de topografia e curvas de nível.

Na medida em que os usuários chegavam, eles se posicionavam na volta da caixa de areia, aproximadamente 5 usuários por vez. Os usuários então livremente experimentavam a aplicação, realizavam algumas tarefas como moldar o mapa topográfico, reproduziam montanha, planalto, planície, depressão, praias, simularam chuva, construíram barragens e observaram o escoamento da água (Figura 22).

Após a experimentação os usuários responderam anonimamente aos formulários de Usabilidade e UX. Os resultados foram contabilizados e preparados gráficos baseados nos gerados pela ferramenta AttrackDiff.

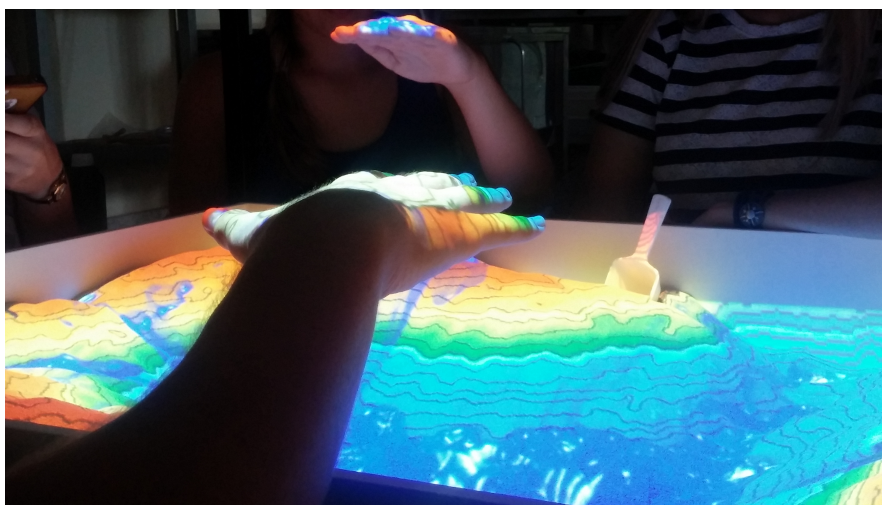


Figura 22 – Usuários testando aplicação no primeiro experimento.

O resultado da **avaliação de Usabilidade** do AR Sandbox é apresentado no gráfico da Figura 23. É possível notar que na questão "A caixa tem muita informação" a avaliação foi a mais próxima de neutra (4) sendo avaliada em 5,13 na escala, isto pode ser explicado pelo AR Sandbox ter sido apresentado com poucas funcionalidades (moldar do mapa e simular chuva), em contrapartida, a caixa de areia é rica em detalhes, o que pode ter sido interpretada como muita informação, além disso, alguns usuários tiveram dúvidas para entender pergunta, não sabendo escolher se "ter muita informação" seria no sentido bom ou ruim.

Também pode-se observar que ambas questões "A aplicação faz sentido" e "A



Figura 23 – Resultados da avaliação de usabilidade.

projeção do mapa topográfico faz sentido", tiveram a maior avaliação com o valor 6,9, levando a considerar que o AR Sandbox se comporta de acordo com o esperado.

E a questão "A caixa de areia é agradável" teve avaliação de 6,7 que também é um bom resultado e indica que os usuário gostaram de utilizar a aplicação.

Observando o gráfico de Usabilidade (Figura 23) as perguntas foram divididas em cinco campos: Geral, Simplicidade, Diversidade, Composição das Cores e Qualidade. A avaliação destes campos individualmente é apresentada na Figura 24.

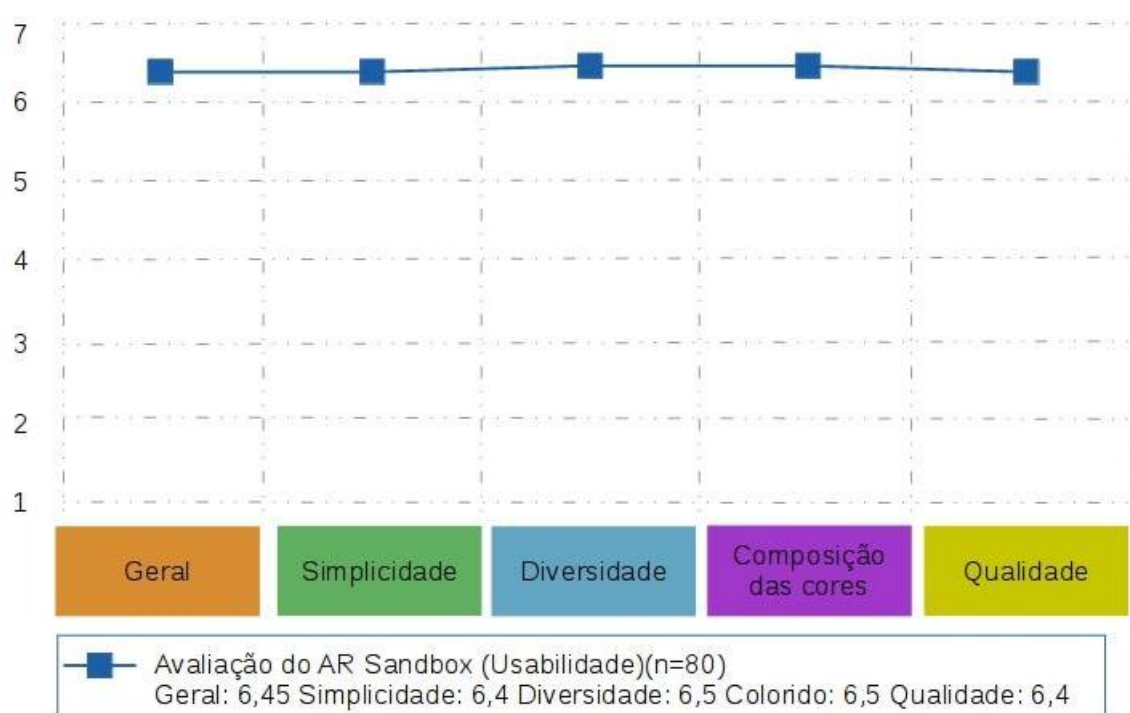


Figura 24 – Resultados da avaliação dos campos de usabilidade.

O campo Simplicidade foi avaliado com nota 6,4 o que indica que os usuários acreditam que o AR Sandbox é uma aplicação agradável, simples e fácil de utilizar.

O campo Diversidade teve a avaliação com o valor 6,5, permitindo considerar que o AR Sandbox é dinâmico e que os usuários se sentem motivados com o uso desta aplicação.

A avaliação de Composição das cores foi também 6,5, um bom resultado até porque a atividade principal do AR Sandbox é moldar o mapa topográfico formado por curvas de nível em uma escala de cores que varia do azul ao branco. Em contrapartida a pergunta "A escolha de cores é adequada/correta" teve a menor nota deste grupo, isto pode ser explicado devido ao fato de que alguns usuários serem especialistas e, já conhecendo mapas topográficos, não concordaram com a escolha da escala de cores da aplicação.

O campo Qualidade teve avaliação de 6,4, o que pode ser interpretado que a apli-

cação AR Sandbox está de acordo com as expectativas do usuário, tanto a estrutura quanto a aplicação em si.

No campo Geral a avaliação foi 6,45 o que demonstra que os usuários se sentiram satisfeitos com a aplicação, considerando o projeto AR Sandbox interessante, motivador e bem executado. Portanto, de acordo com os gráficos esboçados, a avaliação de usabilidade do AR Sandbox foi positiva.

O resultado da **avaliação de UX** do AR Sandbox é apresentado na Figura 25. Nesta avaliação o questionário é baseado em UEQ, os usuários indicaram suas opiniões em uma escala semântica que varia de um adjetivo a outro.

No questionário de UX, o primeiro par "Técnico - Humanizado" recebeu avaliação 0,7, nesta pergunta a maioria dos usuários ficaram em dúvida do significado de Técnico e Humanizado para a aplicação, por isso, não souberam responder e marcaram neutro (0). Outros usuários indicaram ser Humanizado, por ser uma aplicação que a interação é mais natural.

O par "Previsível - Imprevisível" recebeu avaliação 0,4, o intervalo de respostas para esta pergunta foi de -3 a 3, ou seja, tiveram todos tipos de respostas, porém a avaliação mostra que média das respostas tendeu a imprevisível, indicando que os usuários acreditam que a ferramenta tem um comportamento surpreendente.

O par "Caro - Barato" recebeu avaliação de 0,2, os usuários acreditaram que o custo para implantar o AR Sandbox é nem tão barato, os usuários tiveram dificuldade de avaliar esta questão devido ao fato de não conhecerem o valor dos equipamentos e nem da complexidade do sistema computacional.

E o par "Desafiador - Fácil/Não exigente" recebeu avaliação de 0,3, o que indica que apesar da manipulação da aplicação ser simples (moldar o mapa topográfica e simular chuva), outros usuários se sentiram motivados a usar a imaginação para reproduzir diferentes relevos e simular diversos cenários.

O gráfico da avaliação de UX para o AR Sandbox, assim como em avaliação de usabilidade, é dividido em campos, que no caso de avaliação de UX, os campos são: QP, QH-I, QH-E e ATT, respectivamente, Qualidade Pragmática, Qualidade Hedônica-Identidade, Qualidade Hedônica-Estímulo e Atratividade.

Na Figura 26 são apresentados os resultados dos campos da avaliação de UX. Pode-se observar que no geral a avaliação dos campos foi bastante uniforme, entre 1,7 e 1,8. E todos os campos ficaram acima da média (0). Estes fatos permitem concluir que a avaliação de UX do AR Sandbox teve ótimo resultado, os usuários conseguiram executar tarefas de forma precisa, interessaram-se pela aplicação, sentiram-se estimulados e acreditam que a aplicação AR Sandbox é de boa qualidade.



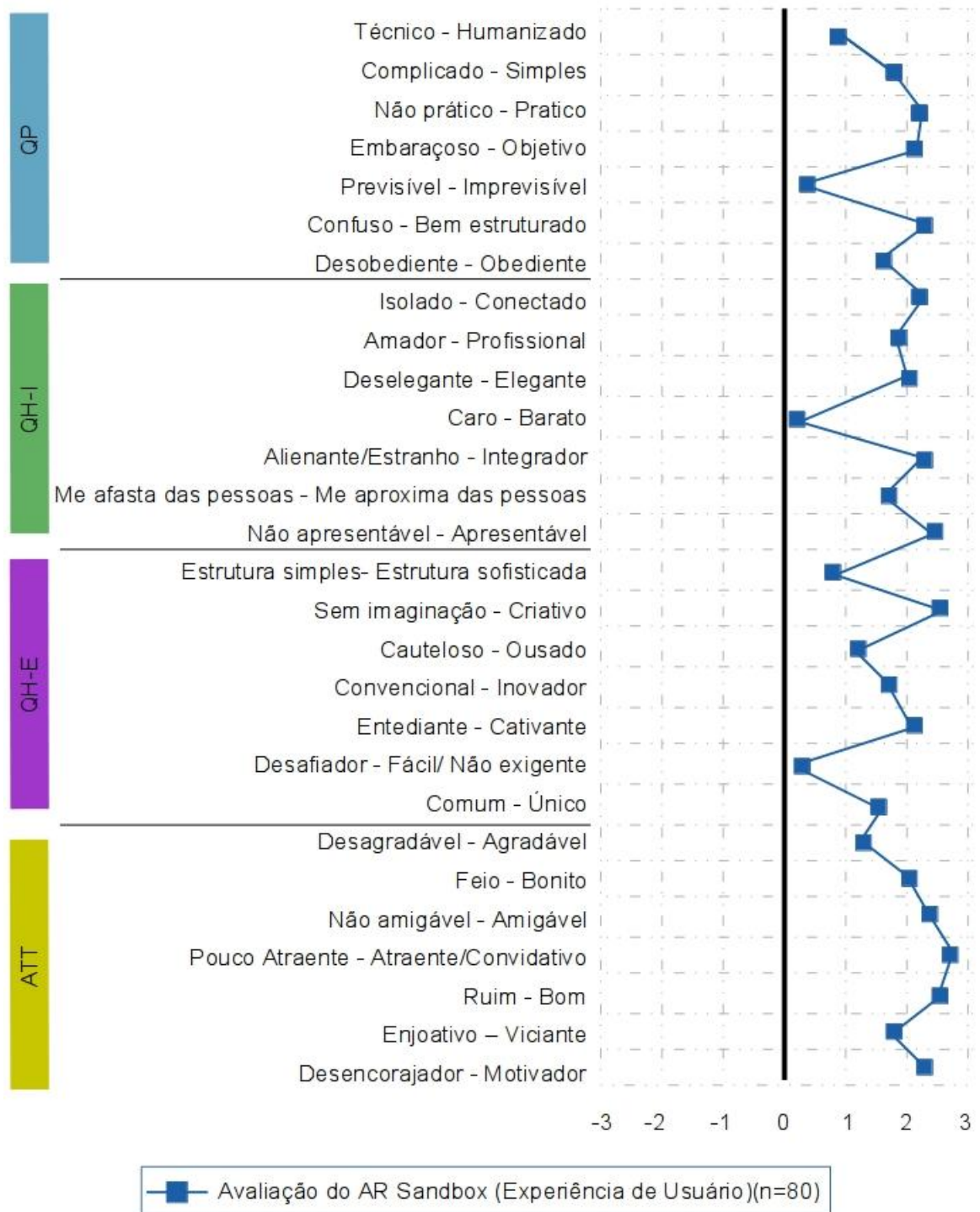


Figura 25 – Resultados da avaliação por UX.



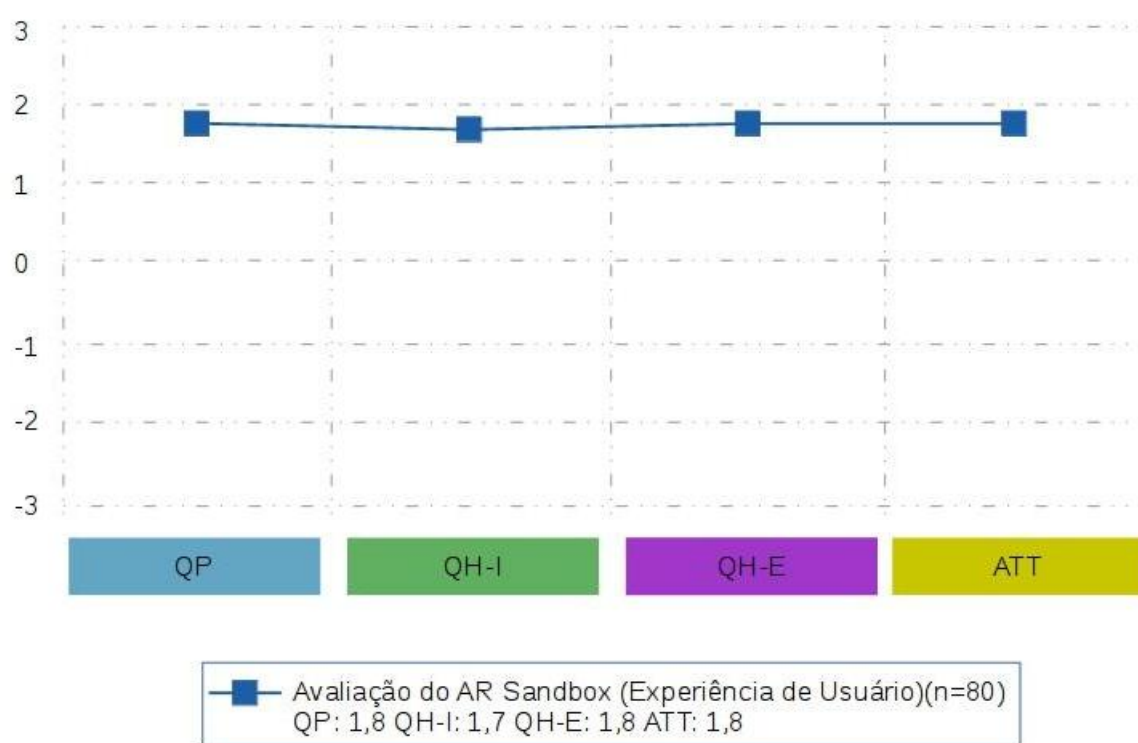


Figura 26 – Resultados da avaliação dos campos de UX.

## 4.2 Avaliação do AR Sandbox com MOS

Posteriormente a fim de ter mais uma metodologia para estudo, foi aplicado o modelo de avaliação MOS (do inglês "*Mean Opinion Scale*"), com 25 participantes em Maio de 2019. O MOS provê avaliar a qualidade de mídia (áudio) em uma aplicação. Sua característica é avaliar a usabilidade da aplicação e permite também avaliar UX, devido aos critérios de usabilidade influenciar na UX como um todo. Neste caso, para aplicar ao AR Sandbox foi interpretado para avaliar as questões visuais e de interação.

### 4.2.1 Adaptação do questionário MOS

Foi elaborado um questionário baseado no apresentado no trabalho (STREIJL; WINKLER; HANDS, 2016). O questionário original possui questões para avaliar qualidade de áudio, para identificar possíveis falhas e percepções do usuário avaliado. Para se adequar a interface do AR Sandbox para cada pergunta foi elaborada uma questão sobre os temas da original, como impressão geral, esforço para entender, percepção, qualidade da resposta, ruído, tempo de resposta e satisfação. Além das perguntas, foi necessária adequação nas respostas. Para cada questão o MOS possui respostas diferentes, a adaptação foi feita nas respostas para combinar com as perguntas. A Tabela 5 mostra as adequações das perguntas e o modelo do questionário aplicado é apresentado no Apêndice C.

Original	Adaptado
Your answer must indicate how you rate the sound quality of the voice you have heard.	Sobre a qualidade da interação.
Your answer must indicate the degree of effort you had to make to understand the message.	Eu consegui interagir com a caixa de areia sem dificuldades.
Your answer must indicate if you found single words hard to understand.	A interface respondeu corretamente meus movimentos.
Your answer must indicate if the speech sounds are clearly distinguishable.	A representação na caixa é o que eu esperava.
Your answer must indicate if you noticed any anomalies in the naturalness of sentence pronunciation.	A interface apresentou ruído/algo que não deveria
Your answer must indicate if you found the speed of delivery of the message appropriate.	Sobre o tempo de resposta do movimento.
Your answer must indicate if you found the voice you have heard pleasant.	De forma geral, a interação com a caixa de areia foi prazerosa/gostei

Tabela 5 – Adaptação do questionário de avaliação MOS

#### 4.2.2 Resultados da avaliação

Este experimento teve a participação de 25 alunos, do curso de Engenharia Hídrica e da Computação. Foi guiado como no experimento anterior, os usuários foram convidados a testarem o AR Sandbox livremente (Figura 27). Após a experimentação foi entregue o formulário para avaliação.

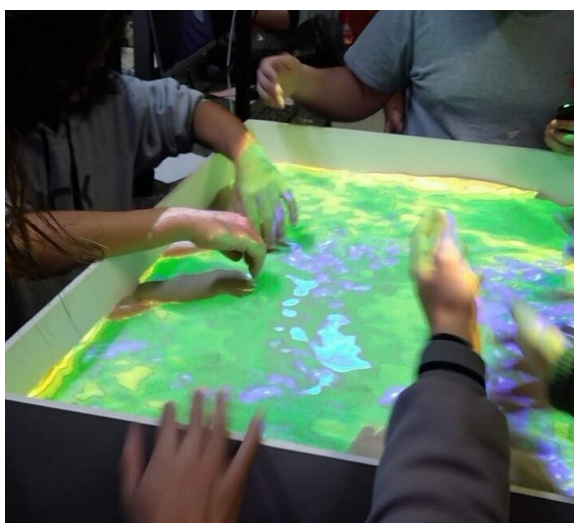


Figura 27 – Usuários testando aplicação no segundo experimento.

As respostas dos questionários foram coletadas e contabilizadas. Seguem resultados e interpretação:

A primeira questão "1. Sua resposta deve indicar a qualidade da interação", os usuários responderam: Excelente (21), Bom (4), Razoável (0), Ruim (0) e Péssima (0). O resultado dessa questão converge para uma interação positiva com representação expressiva dos usuários.

A segunda questão "2. A sua resposta deve indicar o grau de dificuldade para interagir com o AR Sandbox.", os usuários responderam: Sem esforço necessário (17),

Pouco esforço (7), Médio esforço (1), Bastante esforço (0) e Mesmo com muito esforço não consegui compreender (0). Em alguns momentos se observou que a aplicação não reconheceu corretamente a mão do usuário como nuvem, isso influenciou na resposta média dessa questão.

A terceira questão "3. A sua resposta deve indicar se a interface respondeu corretamente os seus movimentos", os usuários responderam: Não respondeu a nenhum movimento (0), Respondeu a poucos movimentos (0), Respondeu a alguns movimentos (0), Respondeu vários movimentos (13) e Respondeu todos os movimentos (12). Aqui se verifica que a resposta mais positiva não foi a mais opinada, completando a questão anterior de que a aplicação não respondeu corretamente aos movimentos.

A quarta questão "4. A sua resposta deve indicar se a representação do relevo são distinguíveis (facilmente observáveis)", os usuários responderam: Sim, percebo as curvas de nível com clareza (21), Sim, percebo as curvas de nível com certa clareza (4), As curvas de nível são claras o bastante (0), Não, as curvas de nível não têm muita clareza (0) e Não, as curvas de nível não tem clareza alguma (0). Os usuários concordaram com as curvas de nível dos relevos, que é o retorno visual principal dessa interface.

A quinta questão "5. A sua resposta deve indicar se você notou anomalia durante a interação", os usuários responderam: Não notei anomalias (17), Sim, mas não gera incômodo (8), Sim, gera pouco incômodo (0), Sim, gera incômodo (0) e Sim, gera muito incômodo (0). Ainda complementando as questões 2 e 3, alguns usuários notaram irregularidade na aplicação.

A sexta questão "6. A sua resposta deve indicar se você achou o tempo de resposta dos movimentos adequado.", os usuários responderam: Sim (21), Sim, mas mais lento do que deveria (4), Sim, mas mais rápido do que deveria (0), Não, muito lento (0) e Não, muito rápido (0). Poucos usuários opinaram que o retorno visual da aplicação é lento. Em interações tangível com ação e resposta sob o mesmo objeto como é o caso do AR Sandbox é importante que esse tempo seja mínimo, para que o usuário tenha a sensação de estar moldando o próprio objeto digital.

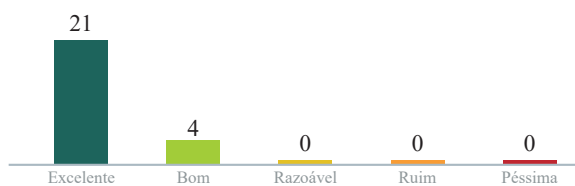
E a sétima questão "7. A sua resposta deve indicar se você achou a interação com o AR Sandbox agradável.", os usuários responderam: Muito agradável (23), Agradável (2), Razoável (0), Desagradável (0) e Muito desagradável (0). Com a massiva maioria dos resultados positivos, essa questão mostra que os usuários se satisfizeram com o AR Sandbox.

Para melhor entendimento dos resultados, foi montado um gráfico da Figura 28. O gráfico trata das respostas em uma escala de 1 à 5, onde 1 são respostas negativas e 2 são respostas positivas. Os balões representam os dados quantitativos, o agrupamento das respostas.

Percebe-se no gráfico que as respostas se concentram ao lado direito, levando

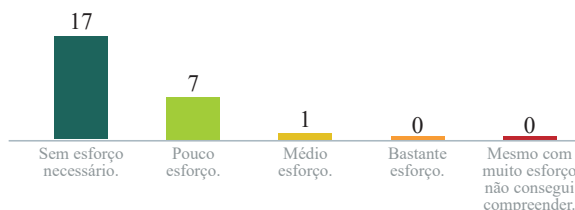
### 1. Impressão Global

A sua resposta deve indicar a qualidade da interação.



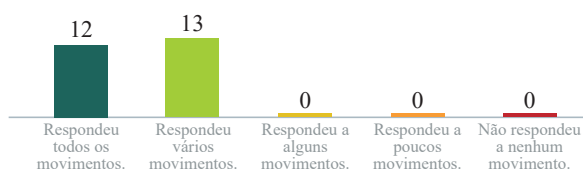
### 2. Esforço de entendimento

A sua resposta deve indicar o grau de dificuldade para interagir com o AR Sandbox.



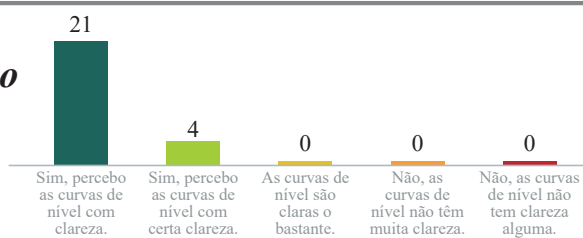
### 3. Resposta aos movimentos

A sua resposta deve indicar se a interface respondeu corretamente os seu movimentos.



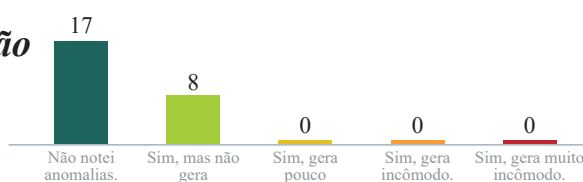
### 4. Problemas de compreensão

A sua resposta deve indicar se a representação do relevo são distinguíveis (facilmente observáveis).



### 5. Fidelidade de representação

A sua resposta deve indicar se você notou anomalia durante a interação.



### 6. Tempo de resposta

A sua resposta deve indicar se você achou o tempo de resposta dos movimentos adequado.



### 7. Prazer de interação

A sua resposta deve indicar se você achou a interação com o AR Sandbox.

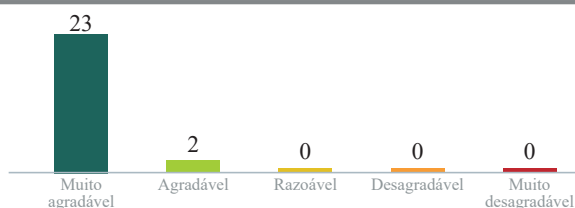


Figura 28 – Resultados da avaliação por MOS

a considerar respostas positivas por parte dos usuários. Pode-se considerar que o AR Sandbox é satisfatório para os usuários. Que a sua interface responde bem aos movimentos, ainda que em alguns momentos a resposta não tenha sido a esperada, com travamentos.

## 5 LIÇÕES APRENDIDAS

Este capítulo discute os resultados obtidos através do olhar da própria experiência tangível inerente ao objetivo desta pesquisa, como também, explora observações que nos remetem a resultados adicionais proporcionados pelo potencial de uso do AR-SandBox como uma ferramenta de ensino-aprendizagem.

### 5.1 AR Sandbox como experiência tangível

Para discutir o AR Sandbox como uma experiência tangível, ou seja, como uma TUI, retomamos a discussão das questões de Pesquisa (propostas pela revisão sistemática de literatura realizada X resultados obtidos pelos experimentos realizados. Com os dados obtidos na Revisão de Literatura e dos experimentos é apresentada a discussão destes guiados pelas questões elencadas nesta pesquisa.

#### 5.1.1 Como as TUIs estão sendo utilizadas na prática?

##### **Escopo:**

De modo geral as aplicações TUI são criadas para escopos específicos. As RSL apresentaram artigos com aplicações para: simulação tridimensional, entretenimento em jogos, representação de artefatos, entre outros. E diferente das GUIs, nas TUIs os dispositivos (materiais e sensores) que constituem a aplicação são específicos para suas funcionalidades. Assim como o elemento de interação que nas TUIs são com objetos, as vezes combinados, e interação através de gestos corporais do usuário.

O AR Sandbox é uma aplicação de mapa topográfico interativo. O sensor Kinect capta a superfície da caixa de areia e o computador cria a imagem a ser projetada sob a caixa. A forma de interação se dá através da manipulação da areia para construção do mapa topográfico, utilizando as mãos ou com auxílio das pás para a manipulação.

##### **Perfil de Usuário:**

Os artigos das RSL mostraram aplicações para diversos tipos de público. Nas duas RSLs a maioria são para adultos, em seguida para crianças e a primeira RSL três artigos para idosos. As aplicações para crianças, em geral, são didáticas e se

apresentam como jogos lúdicos. As aplicações que são para adultos são de diversos tipos, algumas são criadas para modelagem 3D de material da exposição por exemplo. Assim como as aplicações para idosos.

A segunda RSL, sobre TUI em museus, apresentou artigos que tratavam de representações de artefatos históricos e arqueológicos, o que mostra a capacidade da TUIs em permitir novas representações de objetos adicionando recursos digitais.

Os perfis de usuário do AR Sandbox eram professores e alunos dos cursos de Engenharia Hídrica e Computação. Verificou-se que os alunos do curso de Engenharia Hídrica realizaram atividades partindo dos conceitos vistos em sala de aula, como barragem e escoamento, simulando estes na caixa de areia. Enquanto que os alunos da Computação, que menos conhecimento tem sobre este tema, realizaram atividades parecidas, como construção de barragem por exemplo, mesmo sem partir dos conceitos de topografia.

#### **Infraestrutura:**

Em ambas RSLs os artigos foram classificados por domínio de aplicação. Da primeira RSL a maioria dos artigos mostraram ser de aplicações em Mesas Tangíveis e Materiais Maleáveis, enquanto que a segunda RSL, a maioria dos artigos são de RA em Objetos Reais. Isso se explica devido ao fato que nos museus utilizarem os próprios objetos da exposição para a interação, inserindo RA sobre eles e/ou eles como o elemento de interação. Outra análise é feita sob o ambiente, onde é observado que o espaço também constitui a interação, algumas aplicações permitem serem usadas por múltiplos usuários que realizam atividades em conjunto. A segunda RSL mostrou instalações dentro de espaço museal, trazendo ampliação das sensações ao usuário durante a visita.

O AR Sandbox está instalado no Laboratório de Hidrossedimentologia dos Solos na UFPel, um ambiente de ensino e pesquisa, e sua funcionalidade está para o estudo de topografia. A infraestrutura dele é uma caixa de areia de 1m x 0,75m, sustentado por ferro que posiciona o computador, Kinect e projetor. A projeção da imagem do mapa topográfico sob a caixa de areia traduz a RV ali aplicada. Ainda neste espaço permite a interação de até 4 usuários por vez na volta da caixa de areia.

#### **Acessibilidade:**

As RSLs retornaram artigos com aplicações para pessoas com deficiência visual, (ASANOWICZ, 2015) e (VAZ; FERNANDES; VEIGA, 2018). Nestes trabalhos as aplicações fazem uso da interface tangível para usuários poderem experimentar a interface através do tato, permitindo absorver o conteúdo através deste sentido.

Durante o experimento com AR Sandbox um usuário com deficiência motora e cadeirante não pode experimentar o AR Sandbox devido a caixa de areia estar alta para ele e não foi possível que ele alcançasse e manipulasse a areia. Esta limitação do AR Sandbox mostrou uma falha no processo de desenvolvimento da estrutura e

que foi verificado na avaliação. Entretanto poderia ter sido evitada se no processo de criação do AR Sandbox tivessem sido definidas os diferentes tipos de usuários e suas limitações. Soluções estão sendo pensadas para que a altura do AR Sandbox seja ajustável.

### 5.1.2 Quais metodologias de avaliação estão sendo aplicadas às TUIs?

A respeito das ferramentas e instrumentos de avaliação, na primeira RSL sobre avaliações de TUI foi verificado que a maioria dos artigos não aplicou-se somente uma ferramenta única de avaliação dentro de uma abordagem definida. Buscou-se sempre, nos testes propostos, o uso de mais de um instrumento avaliativo de modo a complementar ou dar mais segurança dos resultados gerados. E ainda que dos 20 artigos que apresentaram aplicações de mesas interativas, por exemplo, 18 deles usam instrumentos conjugados de entrevista com observações (6 questionários e 12 observações).

Na prática realizada em avaliar o AR Sandbox, o primeiro experimento foi aplicado dois questionários (de Usabilidade e de UX), além de serem coletadas observações e realizadas entrevistas com professores do curso da Engenharia Hídrica. No segundo experimento foi aplicado também questionário, no modelo MOS, com outros alunos participantes da avaliação.

Verifica-se que a aplicação de questionário como instrumento de avaliação é uma prática comum e que permite melhor análise dos dados e é suficiente para avaliar a aplicação. Em contrapartida, houve a necessidade de adaptar as perguntas dos questionários para o elementos da aplicação (inserindo "caixa de areia" e "mapa topográfico"), além disso depende da interpretação do usuário, sendo necessário o auxílio de avaliadores para guiar o usuário.

Também em ambos experimentos os usuários foram apresentados a aplicação, onde os avaliadores explicaram que se tratava de interface do tipo tangível, onde a interação é feita com a manipulação da areia a fim de criar a projeção do mapa topográfico. A apresentação da interface para os usuários é importante como primeiro contato com a aplicação, as informações que são passadas irão guiar o teste e serão refletidas nos resultados da avaliação.

### 5.1.3 O que deve ser avaliado em TUI?

As TUIs possuem duas características específicas, que são: presença de objeto físico para interação e manipulação deste objeto por gestos corporais. Estes dois fatores são o que constituem a interação tangível.

**Elemento de Interação:** As RSLs mostram diferentes tipos de objetos como elemento de interação das aplicações, podem ser cubos maciços, discos, cartão de papel, entre outros, a segunda RSL mostrou em diversos artigos o uso de réplicas dos



objetos do museu. Na aplicação a presença destes objetos é influenciada pela percepção do usuário em saber como manipulá-los. Ainda estes objetos, ainda na percepção da cor, formato e tamanho dos objetos, a usabilidades dos objetos, o significado dos objetos influencia na UX e a percepção do usuário com o mundo real.

O elemento de interação do AR Sandbox é a areia. O usuário manipula com suas mãos e também foram disponibilizadas pás para auxiliar. Observou-se que a areia muito fina não permitia a modelagem de certos cenários na caixa de areia, refletindo em um problema de usabilidade verificado na avaliação, outro tipo de areia mais moldável é pensada para ser substituída na aplicação.

### **Ergonomia:**

As TUIs utilizam a habilidade motora do usuário e consiste na percepção do movimentos dentro do ambiente. Aspectos relacionados com a percepção do usuário com o mundo real não foram encontrados inseridos nos processos de avaliação dos artigos apresentados na primeira RSL, assim como não foram relatados como fatores que impactam nos resultados dos artigos da segunda RSL, apesar de serem discutidos no processo de criação e experimentação das aplicações.

Nos experimentos a caixa de areia no AR Sandbox instigou a capacidade cognitiva dos usuários a saberem como manusear, entretanto, alguns usuários expressaram desconforto em utilizar as mãos para tocar na areia, sendo assim, foram disponibilizadas pás como ferramenta auxiliar. Neste caso, a premissa de moldar a caixa de areia como se estivesse moldando o mapa topográfico se tornou questionável. Portanto é necessário verificar e até mesmo avaliar diferentes protótipos de elementos de interação.

### **Engajamento:**

A ideia da TUI é aproximar o usuário do artefato que está interagindo, representando a informação digital ao objeto físico ou ambiente. O termo "Mágica Tangível" representa essa característica presente nas TUIs, de entregar uma forma inesperada de interagir com objetos e o prazer de interagir com eles. Os artigos coletados das revisões em geral apresentaram resultados de satisfação positivos e relatam a experiência como surpreendente e agradável.

Nos experimentos deste estudo essa identificação dos usuários também é presente. De acordo com o grau de proximidade com tecnologias e conhecimento em topografia, os alunos do curso de Computação expressaram curiosidade em saber que tipo de tecnologia consistia o AR Sandbox, enquanto que os alunos da Engenharia Hídrica se surpreenderam na visualização do mapa topográfico que até então estavam familiarizados através de livros.

Fato que chamou atenção para o potencial do AR Sandbox para o processo de ensino-aprendizagem desta disciplina. Estas sensações são difíceis de qualificar e quantificar no processo de avaliação por serem subjetivas mas foram observadas du-

rante os experimentos realizados. A interação dos alunos e as discussões promovidas pelo uso do AR Sandbox inclusive motivadas pela professora da disciplina que acompanhou os alunos. Essa é uma faceta que foge ao escopo dos instrumentos e ferramentas de avaliação utilizados. A avaliação de UX melhor se ajusta em avaliar as percepções dos usuários de modo geral. Nos experimentos os questionários se limitaram em avaliar as sensações, sendo melhor utilizar a observação para coletar os dados. Outras impressões do AR Sandbox e seu potencial como ferramenta de ensino-aprendizagem são apresentadas a seguir.

## **5.2 AR Sandbox como ferramenta de ensino-aprendizagem na disciplina de Topografia**

Durante o processo de instalação do AR Sandbox na UFPel, professores e pesquisadores do curso de Engenharia Hídrica foram entrevistados. As entrevistas foram conduzidas de forma presencial e via formulário online. As questões eram relacionadas com o uso da aplicação AR Sandbox em sala de aula e laboratório para ensino de topografia com os alunos do curso e como material de estudo para pesquisas acadêmicas.

A entrevista presencial foi realizada com uma professora da disciplina de topografia do curso na UFPel. Seus conhecimentos eram sobre topografia, curva de nível, escoamento e climatologia. O mesmo disse que não conhecia o projeto AR Sandbox, nem aplicações de TUI. Para o professor, o nível de dificuldade que seus alunos tinham em entender sobre o conteúdo de topografia era médio, mas que os alunos se sentiriam atraídos pela aplicação por ser uma aplicação dinâmica e passariam a entender melhor os conceitos ali abordados. E demonstrou interesse em usar o AR Sandbox em sala de aula e em atividades como reprodução de relevo, construção de barragem, construção de canal de drenagem e observação do escoamento.

As mesmas questões da entrevistas foram inseridas no formulário online e disponibiliza a outros professores e pesquisadores da mesma área de conhecimento do curso. Neste modelo 6 profissionais responderam ao formulário e as respostas foram que 5 profissionais conheciam a aplicação AR Sandbox e todos conheciam alguma aplicação de representação de mapa topográfico em modelo tridimensional. Os 6 profissionais indicaram que o AR Sandbox seria útil em seus estudos e o utilizaria com frequência. Todos acreditam que a dificuldade dos alunos em interpretar o mapa em livros é média e, 4 indicaram que os alunos não conseguem interpretar o relevo e 1 indicou que não conseguem associar as cores, como solução, os profissionais acreditam que o AR Sandbox contornaria essas limitações dos alunos.

Sobre as atividades com alunos no AR Sandbox, os entrevistados indicaram que proporiam:

- Classificação de relevo (1 resposta);
- Reprodução de vertentes/encostas (1 resposta);
- Reprodução de bacias hidrográficas (6 respostas);
- Reprodução do leito dos rios (2 respostas);
- Comparação AR Sandbox X Mapa Topográfico em papel (5 respostas);
- Identificação de curvas de nível (6 respostas);
- Representação do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica (1 resposta);
- Terreno primitivo X Projeto (1 resposta);

E para atividades de cunho de pesquisa, os profissionais disseram que utilizariam o AR Sandbox para as seguintes observações:

- Modelagem de terreno (5 respostas);
- Modelagem de bacia hidrográfica (3 respostas);
- Reprodução de bacias hidrográficas (6 respostas);
- Classificação de relevo (3 respostas);
- Análise de fluxo de água (2 respostas);

As entrevistas mostraram o interesse dos profissionais em utilizar o AR Sandbox como ferramenta de ensino sobre o topografia na sala de aula. Além das atividades com os alunos, os entrevistados indicaram interesse em utilizar a aplicação como material de estudo de topografia, simulando cenários reais e coletando do AR Sandbox os dados de forma mais prática e acessível.

Durante os experimentos com alunos no AR Sandbox observou-se um grupo com acompanhamento de professor, onde o professor solicitou aos alunos que construíssem bacia hidrográfica utilizando os conceitos vistos recentemente em aula. Em outros grupos observou-se que os alunos reproduziam cenários como barragens e bacias hidrográficas e identificavam as curvas de nível, relevo e escoamento de chuva.

O uso do AR Sandbox como ferramenta de estudo permite que os alunos e pesquisadores possam observar o mapa topográfico de forma tangível e moldável dinamicamente, diferente do que em aplicações de representação de mapa topográfico em modelo tridimensional em interfaces GUIs. Além disso, a presença do AR Sandbox dentro do ambiente de ensino, permite que o professor faça atividades dentro do escopo da disciplina para tornar o conteúdo convidativo e melhorar o aprendizado do aluno através da experiência tangível com topografia.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho explorou através de uma condução teórico-prática os métodos de avaliação por usabilidade e UX e sua aplicabilidade ao contexto das interfaces tangíveis de usuário. A intenção deste estudo foi investigar se os métodos de avaliação estão adequados para avaliar interfaces tangíveis uma vez que não consideram suas características. A forma de conduzir a pesquisa questionou a literatura através da realização de RSLs como também se apoiou em testes realizados com a AR Sandbox antes da pandemia de COVID-19 ser declarada.

### 6.1 Contribuições

Este trabalho propôs estudar as metodologias de avaliação para TUI. Foram realizadas revisões da literatura que contribuíram entender como as metodologias de avaliação estão sendo aplicadas nas ferramentas e instrumentos. Nos experimentos técnicas de avaliação utilizando as ferramentas AttrackDiff e MOS foram aplicados para avaliação de Usabilidade e UX, sendo necessárias adaptações e identificados pontos em que foram insuficientes, como as sensações e expectativas do usuário na sensação de moldar material em domínio digital. Portanto, a avaliação de TUI é um processo que deve ser feito atendendo às suas especificidades. De acordo com a proposta da interface questões sobre a interação tangível, consciência corporal e sensações devem estar inseridas no processo de avaliação.

A partir dos experimentos, em que foram aplicadas metodologias e instrumentos adaptados para o AR Sandbox, foram verificadas erros e acertos nos processos de avaliações.

As entrevistas com os professores e técnicos ampliou as perspectivas de uso do AR Sandbox como ferramenta de ensino e pesquisa em topografia, mostrando o interesse deste público em ter a aplicação no laboratório e o entusiasmo em utilizar em suas atividades. Primeiramente a entrevista foi feita com um professor, e a partir desta conversa com entrevistado foi elaborada a entrevista disponibilizada para outros professores de outras instituições parceiras.

No processo de testes com usuários, o público alvo desta etapa foram os alunos de graduação do curso de Engenharia Hídrica, para qual está instalado o AR Sandbox, e os alunos de Computação. Para a condução dos testes, os alunos foram convidados a conhecer e experimentar o AR Sandbox, para os grupos que chegavam ao laboratório foi solicitado que se organizassem em pequenos grupos de até 4 pessoas, que melhor se posicionariam na volta da caixa de areia e, em outros momentos quando apareciam 1, 2 ou 3 participantes, não foi necessária orientação para se posicionar.

Verificou-se que quando havia mais de um usuário, a interação era mais interessante e os participantes construíam cenários em conjunto na caixa de areia, o que mostrou o estímulo entre os alunos ao aplicar seus conhecimentos prévios para usar a aplicação e aprender através da colaboração.

Ao fim da experimentação, para cada usuário do teste foi disponibilizado o questionário de avaliação. No primeiro experimento com dois questionários de avaliação (de Usabilidade e UX) e no segundo experimento o questionário de avaliação MOS. Os questionários de usabilidade e UX eram mais extensos do que o MOS. Visto que o público alvo eram alunos de graduação, não surgiram problemas quanto ao instrumento aplicado ser questionário, entretanto algumas perguntas dos questionários geraram dúvidas aos usuários devido as adaptações dos questionários não se adequar as ideias dos usuários com a aplicação. Por exemplo, no questionário UX os pares Técnico-Humanizado e Caro-Barato, geraram dúvidas para os usuários conceituar suas opiniões.

Seguindo a proposta de avaliar Usabilidade e UX do AR Sandbox, com os questionários foi possível avaliar tais aspectos. As questões "As cores correspondem ao esperado" do questionário de usabilidade do AttrackDiff, "Previsível-Imprevisível" do questionário de UX do AttrackDiff e "A interface respondeu corretamente meus movimentos" do questionário MOS, permitiram avaliar a resposta sobre a projeção do mapa topográfico durante a interação com a caixa de areia. Tal requisito, é principal para usabilidade da aplicação, e se não for atendida corretamente implica na UX do usuário.

As questões "A caixa de areia é interessante", "Sem imaginação-Criativo" e "De forma geral, a interação com a caixa de areia foi prazerosa/gostei", dos questionários de usabilidade, UX do AttrackDiff e questionário MOS, respectivamente, avaliaram alguns sentimentos da UX dos usuários com a aplicação.

O desafio no processo de avaliação de interface está em saber o que avaliar e como avaliar. Aplicar os métodos de usabilidade e UX é suficiente para avaliar as funcionalidades e sensações.

Algumas questões foram elaboradas para serem inseridas no instrumento de avaliação da TUI, que são:

- A aplicação atende ao seu propósito?

- A aplicação permite ser usada por usuários com diversas limitações e deficiências (acessibilidade)?
- A aplicação reconhece corretamente os gestos do usuário?
- A interação tangível é agradável/confortável para o usuário?
- O usuário consegue utilizar suas destrezas corporais para interação com a aplicação?
- Se a interface permite múltiplos usuários, o sistema responde a todos?
- Se a interface permite múltiplos usuários, os usuário conseguem realizar atividades colaborativas?

## 6.2 Limitações de escopo em função da COVID-19

A Pandemia de Coronavírus chegou ao Brasil em Março de 2020. Desde então é necessário respeitar o isolamento social e ter atenção à higiene pessoal com uso de máscaras e álcool em gel. Empresas e instituições tiveram que suspender as atividades presenciais com intuito de prevenir a disseminação da contaminação do vírus. A UFPel tomou prontamente a atitude de suspender as atividades presenciais, e tem se adaptados às atividades remotas.

As mudanças bruscas na rotina impactaram a vida de toda população. Ir para sala de aula ou laboratório e tomar um café na hora do intervalo, que até então era hábito entre o grupo social, se tornou restrita de acordo com a recomendação da Organização Mundial de Saúde.

Com as pessoas limitadas de exercer suas atividades, surgem iniciativas para ajudar quem precisa neste momento. A reflexão de Costa (2020) faz crítica ao papel do Design neste cenário de crise, o conhecimento das diversas áreas do design (de produto, de moda, de espaços, de embalagens, gráfico e digital) podem contribuir em seus contextos. A pandemia mostra a fragilidade nos aspectos sanitários e ecológicos na sociedade e as preocupações de design sobre comportamento e consumo sustentável.

Neste cenário as atividades previstas para finalizar este estudo foram adiadas. Estava previsto implantar na universidade outra aplicação TUI e explorar mais das metodologias de avaliação para a nova TUI e AR Sandbox. O AR Sandbox é uma aplicação exposta para o público geral e une pessoas em volta da caixa de areia. Devido às restrições da pandemia e o risco de contaminação em manusear a caixa de areia, os planos de experimentação do AR Sandbox foram adiados. Portanto, neste projeto é apresentado o desenvolvimento de avaliações em testes com usuários realizadas anteriormente da pandemia e suspensão das atividades na UFPel.

### 6.3 Trabalhos Futuros

Pretende-se dar continuidade com a parceria entre os cursos de Engenharia Hídrica e Computação, para explorar mais seu uso para prática de atividades de topografia propostas pelos professores e para uso em aulas com alunos do curso. Na área de IHC pretende-se explorar o AR Sandbox para pesquisa sobre processos de desenvolvimento e avaliação de TUI.

É possível adaptações do AR Sandbox para ampliar seu uso simulando cenários reais adicionando outros elementos para a maquete na caixa de areia, além de representar outros modelos gráficos além das curvas de nível de mapa topográfico, inserindo vegetação e construções.

Como material de estudo de TUI, há interessante em aplicar outros métodos de avaliação e em outros modelos existentes como SAM e pense-alto, além entrevistas com alunos. Durante o projeto foram identificadas falhas na construção do AR Sandbox, principalmente pensando em acessibilidade, que podem ser estudadas no processo de desenvolvimento de TUI.

O AR Sandbox fica em exposição no Laboratório de Hidrossedimentologia e Solos do curso de Engenharia Hídrica. Devido a pandemia, o AR Sandbox está sem uso, não sendo possível experimentar devido ao material de interação ser areia e não poder ser higienizado. Entretanto, as modificações estão sendo consideradas para atividades futuras com AR Sandbox.

## REFERÊNCIAS

ALBERT, W.; TULLIS, T. **Measuring the user experience**: collecting, analyzing, and presenting usability metrics. [S.l.]: Newnes, 2013.

ALMUKADI, W.; BOY, G. A. Enhancing Collaboration and Facilitating Children's Learning Using TUIs: A Human-Centered Design Approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEARNING AND COLLABORATION TECHNOLOGIES, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.105–114.

ALRASHED, T. et al. An observational study of usability in collaborative tangible interfaces for complex planning systems. **Procedia Manufacturing**, [S.l.], v.3, p.1974–1980, 2015.

ANASTASIOU, D.; MAQUIL, V.; RAS, E. Gesture analysis in a case study with a tangible user interface for collaborative problem solving. **Journal on Multimodal User Interfaces**, [S.l.], v.8, n.3, p.305–317, 2014.

ANASTASIOU, D.; RAS, E. Case Study Analysis on Collaborative Problem Solving Using a Tangible Interface. In: INTERNATIONAL COMPUTER ASSISTED ASSESSMENT CONFERENCE, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.11–22.

ANGELINI, L. et al. Wheelsense: Enabling tangible gestures on the steering wheel for in-car natural interaction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2013. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2013. p.531–540.

ANTONIJOAN, M.; MIRALLES, D. Tangible Interface for Controlling Toys-To-Life Characters Emotions. In: CHI CONFERENCE EXTENDED ABSTRACTS ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2016., 2016, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2016. p.2387–2394. (CHI EA '16).

ASANOWICZ, A. Museum 2.0-Implementation of 3D Digital Tools. , [S.l.], 2015.

AYALA, A. et al. Virtual Touch FlyStick and PrimBox: two case studies of mixed reality for teaching geometry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS COMPUTING AND AMBIENT INTELLIGENCE, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.309–320.



BARBER, G.; LAFLUF, M.; AMEN, F. G.; ACCUOSTO, P. Interactive Projection Mapping in Heritage: The Anglo Case. , [S.l.], 2017.

BARBOSA, S. D. J.; SILVA, B. S. **Interação Humano-Computador**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2010.

BEHESHTI, E.; KIM, D.; ECANOW, G.; HORN, M. Close the Circuit'N Play the Electrons: Learning Electricity with an Augmented Circuit Exhibit. In: CONFERENCE ON INTERACTION DESIGN AND CHILDREN, 2017., 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.675–678.

BESANCON, L.; ISSARTEL, P.; AMMI, M.; ISENBERG, T. Mouse, Tactile, and Tangible Input for 3D Manipulation. In: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2017., 2017, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2017. p.4727–4740. (CHI '17).

BLAGOJEVIC, R.; PLIMMER, B. CapTUI: geometric drawing with tangibles on a capacitive multi-touch display. In: IFIP CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2013. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2013. p.511–528.

BONILLO, C.; BALDASSARRI, S.; MARCO, J.; CEREZO, E. Tackling developmental delays with therapeutic activities based on tangible tabletops. **Universal Access in the Information Society**, [S.l.], p.1–17, 2017.

BONILLO, C.; CEREZO, E.; MARCO, J.; BALDASSARRI, S. Designing Therapeutic Activities Based on Tangible Interaction for Children with Developmental Delay. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNIVERSAL ACCESS IN HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.183–192.

BOUABID, A.; LEPREUX, S.; KOLSKI, C. Design and evaluation of distributed user interfaces between tangible tabletops. **Universal Access in the Information Society**, [S.l.], p.1–19, 2017.

BROOKE, J. Sus: a “quick and dirty” usability. **Usability evaluation in industry**, [S.l.], v.189, 1996.

BRUUN, A.; JENSEN, K.; KRISTENSEN, D. Usability of Single-and Multi-factor Authentication Methods on Tabletops: A Comparative Study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-CENTRED SOFTWARE ENGINEERING, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. p.299–306.

CARROLL, J. M. Human–computer interaction. **Encyclopedia of Cognitive Science**, [S.l.], 2009.

CECONELLO, M. Smart Artefacts and Spaces to Interact, Promote and Transfer Cultural Knowledge. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMETRY AND GRAPHICS, 2018. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2018. p.644–652.

CESÁRIO, V.; RADETA, M.; MATOS, S.; NISI, V. The Ocean Game: Assessing Children's Engagement and Learning in a Museum Setting Using a Treasure-Hunt Game. In: EXTENDED ABSTRACTS PUBLICATION OF THE ANNUAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-HUMAN INTERACTION IN PLAY, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017. p.99–109.

CHU, J. H. et al. Mapping place: Supporting cultural learning through a lukasa-inspired tangible tabletop museum exhibit. In: NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.261–268.

CHU, J. H. et al. Sensing History: Contextualizing Artifacts with Sensory Interactions and Narrative Design. In: CONFERENCE ON DESIGNING INTERACTIVE SYSTEMS, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.1294–1302.

COCKTON, G. Usability Evaluation. **The Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2nd Ed.**, [S.l.], 2013.

COSTA, V. **Design em tempos de pandemia**. Disponível em: <<https://medium.com/viniciusdacosta/design-em-tempos-de-pandemia-9fc6d9035ade>>. Acesso em: 23 de Março de 2021.

COSTA, V. K. da; VASCONCELLOS, A. P. V. de; DARLEY, N. T.; TAVARES, T. A. Methodologies and Evaluation Tools Used in Tangible User Interfaces: A Systematic Literature Review. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, IHC 2018, BELÉM, BRAZIL, OCTOBER 22-26, 2018, 17., 2018. **Proceedings...** ACM, 2018. p.31:1–31:9.

CRADY, A. **Doing the Right Things and Doing Things Right: A Design Researcher's Process Model**. Disponível em: <<https://uxdesign.cc/doing-the-right-things-and-doing-things-right-a-design-researchers-process-model-abd222699bbf>>. Acesso em: 22 de Janeiro de 2021.

DARLEY, N. T. **Interação de Usuário com Interfaces Tangíveis: Uma Análise de Experiências Utilizando o Projeto AR Sandbox**. Monografia (Ciência da Computação), UFPEL (Universidade Federal de Pelotas), Pelotas, Brasil.

DARLEY, N. T. et al. Tangible Interfaces : An Analysis of User Experience Using the AR Sandbox Project. In: XVI BRAZILIAN SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS IHC 2017, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017.

DARLEY, N. T. et al. Tangible Interfaces: An Analysis of User Experience Using the AR Sandbox Project. In: XVI BRAZILIAN SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2017, New York, NY, USA. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2017. (IHC 2017).

DE CROON, R. et al. MeViTa: Interactive Visualizations to Help Older Adults with Their Medication Intake Using a Camera-Projector System. In: IFIP CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017. p.132–152.

DIAS, R. Métricas para avaliação de sistemas de informação. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação, Curitiba**, [S.l.], v.1, n.1, p.1–13, 2002.

DIMITROPOULOS, A. et al. The loom: interactive weaving through a tangible installation with digital feedback. In: **Digital Cultural Heritage**. [S.l.]: Springer, 2018. p.199–210.

DIX, A. Human-computer interaction and web design. In: 2004. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2004.

DOURISH, P. **Where the action is**. [S.l.]: MIT press Cambridge, 2001.

DUCKWORTH, J. et al. Resonance: an interactive tabletop artwork for co-located group rehabilitation and play. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNIVERSAL ACCESS IN HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.420–431.

ESCOBAR VARELA, M.; YONG EN, D. S. A Tangible Interface for Contemporary Wayang Kulit. In: ACM SIGCHI CONFERENCE ON CREATIVITY AND COGNITION, 2017., 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.446–447.

FABBRI, S. et al. Improvements in the StArt Tool to Better Support the Systematic Review Process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING, 20., 2016, New York, NY, USA. **Proceedings...** ACM, 2016. p.21:1–21:5. (EASE '16).

FELIZARDO, K.; NAKAGAWA, E. Y.; FABBRI, S. C. P. F.; FERRARI, F. C. **Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software**. 1<sup>a</sup>.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

GARCIA-SANJUAN, F.; JAEN, J.; NACHER, V.; CATALA, A. Design and evaluation of a tangible-mediated robot for kindergarten instruction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTER ENTERTAINMENT TECHNOLOGY, 12., 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.3.

GERVAIS, R. et al. Tobe: Tangible out-of-body experience. In: TEI'16: TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p.227–235.

GUERLAIN, C.; CORTINA, S.; RENAULT, S. Towards a collaborative Geographical Information System to support collective decision making for urban logistics initiative. **Transportation Research Procedia**, [S.l.], v.12, p.634–643, 2016.

GUPTA, A. et al. MuBiks: Tangible Music Player for Visually Challenged. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNIVERSAL ACCESS IN HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. p.346–356.

HASSENZAHL, M. User experience (UX): towards an experiential perspective on product quality. In: CONFERENCE ON L'INTERACTION HOMME-MACHINE, 20., 2008. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2008. p.11–15.

HASSENZAHL, M.; BURMESTER, M.; KOLLER, F. AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. **Mensch & Computer 2003**, [S.l.], p.187–196, 2003.

HAYES, S.; O'KEEFFE, M.; HOGAN, T. Piecing together the past: constructing stories with Jigsaw Puzzles in Museums. In: ACM CONFERENCE COMPANION PUBLICATION ON DESIGNING INTERACTIVE SYSTEMS, 2017., 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.79–83.

HE, G. et al. ARDock: A Web-AR Based Real-Time Tangible Edugame for Molecular Docking. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGIES FOR E-LEARNING AND DIGITAL ENTERTAINMENT, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.37–49.

HEWETT, T. T. et al. **ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction**. [S.l.]: ACM, 1992.

HOE, Z.-Y.; LEE, I.-J.; CHEN, C.-H.; CHANG, K.-P. Using an augmented reality-based training system to promote spatial visualization ability for the elderly. **Universal Access in the Information Society**, [S.l.], p.1–16, 2017.

HOGAN, T.; GOVEAS, D.; NOONAN, R.; TWOMEY, L. TaraScope: Controlling Remote Telescopes Through Tangible Interaction. In: NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.281–284.

HORNECKER, E.; BUUR, J. Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2006. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2006. p.437–446.

HOTTA, M.; OKA, M.; MORI, H. Liquid Tangible User Interface: Using Liquid in TUI. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN INTERFACE AND THE MANAGEMENT OF INFORMATION, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. p.167–176.

IONITA, D.; WIERINGA, R.; BULLEE, J.-W.; VASENEV, A. Tangible modelling to elicit domain knowledge: an experiment and focus group. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPTUAL MODELING, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.558–565.

ISHII, H. Tangible bits: beyond pixels. In: TANGIBLE AND EMBEDDED INTERACTION, 2., 2008. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2008. p.xv–xxv.

ISHII, H. Tangible bits: beyond pixels. **Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08)**, New York, New York, USA, p.xv–xxv, 2008.

ISHII, H.; LAKATOS, D.; BONANNI, L.; LABRUNE, J.-B. Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials. **interactions**, [S.l.], v.19, n.1, p.38–51, 2012.

ISHII, H.; ULLMER, B. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In: ACM SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 1997. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997. p.234–241.

JACOB, R. J. et al. Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2008. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2008. p.201–210.

JADÁN-GUERRERO, J.; LÓPEZ, G.; GUERRERO, L. A. Use of Tangible Interfaces to Support a Literacy System in Children with Intellectual Disabilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS COMPUTING AND AMBIENT INTELLIGENCE, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. p.108–115.

JENKINS, H.; GANT, R.; HOPKINS, D. Shifting Sands and Turning Tides: Using 3D Visualization Technology to Shape the Environment for Undergraduate Students. In: AGU FALL MEETING ABSTRACTS, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. v.1, p.3489.

JONES, C. E.; MAQUIL, V. Towards Geospatial Tangible User interfaces: An observational user study exploring geospatial interactions of the novice. In: **Geographical Information Systems Theory, Applications and Management**. [S.l.]: Springer, 2016. p.104–123.

JURGINA, L.; JOAO, B.; TAVARES, T. ARSANDBOX: O ESPÓLIO EDUCACIONAL DA INTEGRAÇÃO DE INTERFACE TANGÍVEL COM REALIDADE VIRTUAL AUMENTADA. In: XXVI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.1267–1276.

KIRNER, C.; KIRNER, T. Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Simulation Visualization, In (J Kisielnicki, Ed.). **Virtual Technologies: Concepts, Methodologies, Tools and Applications**, [S.l.], p.897–921, 2008.

KREYLOS, O. **Augmented Reality Sandbox**. Acessado em Junho de 2016, Disponível em <http://arsandbox.ucdavis.edu/>.

KRIETEMEYER, B.; BARTOSH, A.; COVINGTON, L. A shared realities workflow for interactive design using virtual reality and three-dimensional depth sensing. **International Journal of Architectural Computing**, [S.l.], v.17, n.2, p.220–235, 2019.

KWAN, J. et al. Grasping Cultural Context through Multisensory Interactions. In: TEI'16: TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p.482–487.

LAUGWITZ, B.; HELD, T.; SCHREPP, M. Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In: SYMPOSIUM OF THE AUSTRIAN HCI AND USABILITY ENGINEERING GROUP, 2008. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2008. p.63–76.

LEE, S. A. et al. Trap it! A playful human-biology interaction for a museum installation. In: ANNUAL ACM CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 33., 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.2593–2602.

LEE, T.-H.; WU, F.-G.; CHEN, H.-T. Innovation & evaluation of tangible direct manipulation digital drawing pens for children. **Applied ergonomics**, [S.l.], v.60, p.207–219, 2017.

LEVERSUND, A. H.; KRZYWINSKI, A.; CHEN, W. Children's Collaborative Storytelling on a Tangible Multitouch Tabletop. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DISTRIBUTED, AMBIENT, AND PERVASIVE INTERACTIONS, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. p.142–153.

LI, N.; WILLETT, W.; SHARLIN, E.; SOUSA, M. C. Visibility perception and dynamic viewsheds for topographic maps and models. In: SYMPOSIUM ON SPATIAL USER INTERACTION, 5., 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.39–47.

LONG, D. et al. Trajectories of physical engagement and expression in a co-creative museum installation. In: **Proceedings of the 2019 on Creativity and Cognition**. [S.l.: s.n.], 2019. p.246–257.

LOPAREV, A. et al. BacPack for new frontiers: A tangible tabletop museum exhibit exploring synthetic biology. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE SURFACES AND SPACES, 2016., 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p.481–484.

LU, Q. et al. IRelics: Designing a Tangible Interaction Platform for the Popularization of Field Archaeology. In: THIRTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2019. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2019. p.45–54.

LUBOS, P. et al. HoverSpace. In: HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.259–277.

MA, J.; SINDORF, L.; LIAO, I.; FRAZIER, J. Using a tangible versus a multi-touch graphical user interface to support data exploration at a museum exhibit. In: NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.33–40.

MAQUIL, V. et al. Towards a framework for geospatial tangible user interfaces in collaborative urban planning. **Journal of Geographical Systems**, [S.l.], p.1–22, 2018.

MAQUIL, V.; MOLL, C.; MARTINS, J. In the footsteps of Henri Tudor: Creating batteries on a tangible interactive workbench. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE SURFACES AND SPACES, 2017., 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.252–259.

MAQUIL, V.; TOBIAS, E.; LATOUR, T. Tangible Voting: A Technique for Interacting with Group Choices on a Tangible Tabletop. In: HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.79–86.

MARSH, S. Human Computer Interaction: An Operational Definition. **SIGCHI Bull.**, New York, NY, USA, v.22, n.1, p.16–22, June 1990.

MARSHALL, M. T. et al. Using tangible smart replicas as controls for an interactive museum exhibition. In: TEI'16: TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p.159–167.

MORA, S.; DI LORETO, I.; DIVITINI, M. The interactive-token approach to board games. In: EUROPEAN CONFERENCE ON AMBIENT INTELLIGENCE, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.138–154.

MORREALE, F.; DE ANGELI, A. Evaluating visitor experiences with interactive art. In: BIENNIAL CONFERENCE ON ITALIAN SIGCHI CHAPTER, 11., 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.50–57.

MUNTEAN, R. et al. Design Interactions in? elkwk: Belongings. In: ACM CONFERENCE ON DESIGNING INTERACTIVE SYSTEMS, 2016., 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p.582–594.

NASCIMENTO, H. A. do et al. C3–Interactive cubes. , [S.l.], 2015.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. [S.l.]: Elsevier, 1994.

NIELSEN, J. **Ten usability heuristics**. [S.l.]: <http://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/> (accessed ... , 2005.

NOFAL, E.; REFFAT, R. M.; MOERE, A. V. Communicating Built Heritage Information Using Tangible Interaction Approach. In: TANGIBLE AND EMBEDDED INTERACTION, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017. p.689–692.

NOT, E. et al. Writing postcards from the museum: composing personalised tangible souvenirs. In: BIENNIAL CONFERENCE ON ITALIAN SIGCHI CHAPTER, 12., 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.1–9.

NOT, E. et al. Digital augmentation of historical objects through tangible interaction. **Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)**, [S.l.], v.12, n.3, p.1–19, 2019.

OFFERMO, R. Augmented Reality Sandbox as a Tool to Facilitate Learning for Undergraduate Students in the Bachelors Program of Earth Sciences. In: OF THE 12TH , 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016.

PARK, H.; MOON, H.-C. Design evaluation of information appliances using augmented reality-based tangible interaction. **Computers in Industry**, [S.l.], v.64, n.7, p.854–868, 2013.

PATTON, M. Q. **How to use qualitative methods in evaluation**. [S.l.]: Sage, 1987. n.4.

PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. In: EASE, 2008. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2008. v.8, p.68–77.

PETRELLI, D. et al. Tangible data souvenirs as a bridge between a physical museum visit and online digital experience. **Personal and Ubiquitous Computing**, [S.l.], v.21, n.2, p.281–295, 2017.



PIUMSOMBOON, T.; CLARK, A.; UMAKATSU, A.; BILLINGHURST, M. Poster: Physically-based natural hand and tangible AR interaction for face-to-face collaboration on a tabletop. In: D USER INTERFACES (3DUI), 2012 IEEE SYMPOSIUM ON, 3., 2012. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012. p.155–156.

POLLALIS, C. et al. Evaluating learning with tangible and virtual representations of archaeological artifacts. In: TWELFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2018. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2018. p.626–637.

POMBOZA-JUNEZ, G.; HOLGADO-TERRIZA, J. A.; MEDINA-MEDINA, N. Toward the gestural interface: comparative analysis between touch user interfaces versus gesture-based user interfaces on mobile devices. **Universal Access in the Information Society**, [S.l.], p.1–20, 2017.

PREECE, J. R.; ROGERS, Y. SHARP (2002): Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction. **Crawfordsville: John Wiley and Sons, Inc. Answers. com Technology**, [S.l.], 2007.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Design de Interação - 3ed.** [S.l.]: Bookman Editora, 2013.

RADETA, M.; CESARIO, V.; MATOS, S.; NISI, V. Gaming versus storytelling: understanding children's interactive experiences in a museum setting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE DIGITAL STORYTELLING, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017. p.163–178.

SAPOUNIDIS, T.; DEMETRIADIS, S. Tangible versus graphical user interfaces for robot programming: exploring cross-age children's preferences. **Personal and ubiquitous computing**, [S.l.], v.17, n.8, p.1775–1786, 2013.

SEO, D. W.; LEE, J. Y. Physical query interface for tangible augmented tagging and interaction. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v.40, n.6, p.2032–2042, 2013.

SHEN, Y. T.; LU, P. W. BlowBrush: A Design of Tangible Painting System Using Blowing Action. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DISTRIBUTED, AMBIENT, AND PERVASIVE INTERACTIONS, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. p.184–195.

SKULMOWSKI, A. et al. Embodied learning using a tangible user interface: the effects of haptic perception and selective pointing on a spatial learning task. **Computers & Education**, [S.l.], v.92, p.64–75, 2016.

STREIJL, R. C.; WINKLER, S.; HANDS, D. S. Mean opinion score (MOS) revisited: methods and applications, limitations and alternatives. **Multimedia Systems**, [S.l.], v.22, n.2, p.213–227, 2016.

SUN, H.-H.; WU, F.-G. Applied Motion Analysis on TUI Design for Lovers Cooking Together. **Procedia Manufacturing**, [S.l.], v.3, p.6258–6265, 2015.

SUZUKI, H.; SATO, H.; HAYAMI, H. “Make Your Own Planet”: Workshop for Digital Expression and Physical Creation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL, AUGMENTED AND MIXED REALITY, 2014. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2014. p.116–123.

SYLLA, C.; COUTINHO, C.; BRANCO, P.; MÜLLER, W. Investigating the use of digital manipulatives for storytelling in pre-school. **International Journal of Child-Computer Interaction**, [S.l.], v.6, p.39–48, 2015.

TADA, K.; TANAKA, J. Tangible programming environment using paper cards as command objects. **Procedia Manufacturing**, [S.l.], v.3, p.5482–5489, 2015.

TEH, T. T. L.; NG, K. H.; PARHIZKAR, B. Tracelt: an air tracing reading tool for children with dyslexia. In: INTERNATIONAL VISUAL INFORMATICS CONFERENCE, 2015. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2015. p.356–366.

TRIANATFYLLIDOU, I.; CHATZITSAKIROGLOU, A.-M.; GEORGIADOU, S.; PALAI-GEORGIU, G. FingerTrips on Tangible Augmented 3D Maps for Learning History. In: INTERACTIVE MOBILE COMMUNICATION, TECHNOLOGIES AND LEARNING, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017. p.465–476.

VAN CAMP, M.; VAN CAMPENHOUT, L.; DE BRUYNE, G. Rematerializing the User Interface of a Digitized Toy Through Tokens: A Comparative User Study with Children Aged Five to Six. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS, 2017. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2017. p.16–24.

VAZ, R.; FERNANDES, P. O.; VEIGA, A. C. R. Designing an interactive exhibitor for assisting blind and visually impaired visitors in tactile exploration of original museum pieces. **Procedia computer science**, [S.l.], v.138, p.561–570, 2018.

VAZ, R. I. F.; FERNANDES, P. O.; VEIGA, A. C. R. Proposal of a tangible user interface to enhance accessibility in geological exhibitions and the experience of museum visitors. **Procedia Computer Science**, [S.l.], v.100, p.832–839, 2016.

VERMEEREN, A. P. et al. User experience evaluation methods: current state and development needs. In: NORDIC CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION: EXTENDING BOUNDARIES, 6., 2010. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2010. p.521–530.

- WALTHER, J. U.; BÆRENTZEN, J. A.; AANÆS, H. Tangible 3D modeling of coherent and themed structures. **Computers & Graphics**, [S.l.], v.58, p.53–65, 2016.
- WANG, D.; HE, L.; DOU, K. StoryCube: supporting children's storytelling with a tangible tool. **The Journal of Supercomputing**, [S.l.], v.70, n.1, p.269–283, 2014.
- XAMBÓ, A. et al. Experience and ownership with a tangible computational music installation for informal learning. In: ELEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.351–360.
- XU, D.; READ, J. C.; SHEEHAN, R. In search of tangible magic. **People and Computers XXII Culture, Creativity, Interaction 22**, [S.l.], p.97–100, 2008.
- YANNIER, N.; KOEDINGER, K. R.; HUDSON, S. E. Tangible collaborative learning with a mixed-reality game: Earthshake. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION, 2013. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2013. p.131–140.
- YNNERMAN, A. et al. Interactive visualization of 3D scanned mummies at public venues. **Communications of the ACM**, [S.l.], v.59, n.12, p.72–81, 2016.
- YULE, D.; MACKAY, B.; REILLY, D. Operation citadel: Exploring the role of docents in mixed reality. In: OF THE 2015 ANNUAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-HUMAN INTERACTION IN PLAY, 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.285–294.
- ZHANG, Y. X.; ZHU, Z.; YUN, Z. Empower VR art and AR book with spatial interaction. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY (ISMAR-ADJUNCT), 2016., 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.274–279.
- ZUCKERMAN, O.; GAL-OZ, A. To TUI or not to TUI: Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces. **International Journal of Human-Computer Studies**, [S.l.], v.71, n.7-8, p.803–820, 2013.

## **APÊNDICE A    MODELO DO QUESTIONÁRIO DE USABILIDADE**

## Questionário: Usabilidade

Para cada afirmação a seguir você irá marcar em uma escala de "Discordo fortemente" a "Concordo plenamente".

1. A caixa de areia tem muita informação.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

2. A caixa de areia é fácil de entender.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

3. A caixa de areia parece ser bem estruturada.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

4. A aplicação não faz sentido.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

5. A projeção do mapa topográfico não faz sentido.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

6. A caixa de areia não é interessante.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

7. A caixa de areia me permite ter novas ideias.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

8. A ideia da aplicação foi bem pensada.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

9. A caixa de areia parece dinâmica.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

10. A caixa de areia é agradável.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

11. A composição das cores é atraente.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

12. As cores não correspondem ao esperado.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

13. A escolha das cores não é adequada/correta.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

14. As cores são atraentes.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

15. A caixa de areia parece profissionalmente projetada.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

16. A caixa de areia não é moderna.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

17. A ideia da aplicação foi bem desenvolvida.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

18. A aplicação contribuiu para meu conhecimento.

Discordo fortemente

--	--	--	--	--	--	--

Concordo plenamente

## **APÊNDICE B    MODELO DO QUESTIONÁRIO DE UX**





Entediante								Cativante
Fácil/Não exigente								Desafiador
Desencorajador								Motivador
Comum								Único
Desobediente								Obediente

## Sobre você:

1) Você é...

☐

professor!

☐

aluno de graduação!

☐

aluno de mestrado!

☐

aluno de doutorado!

☐

outro!

2) Sobre o conteúdo abordado você se considera ...

☐

Especialista: Tenho conhecimento sobre topografia, curva de nível e bacia hidrográfica.

☐

Não Especialista: Não tenho conhecimento sobre topografia, curva de nível e bacia hidrográfica.

## **APÊNDICE C    MODELO DO QUESTIONÁRIO DO MOS**

## Questionário: MOS (Mean Opinion Score)

1. A sua resposta deve indicar a qualidade da interação.
  - ☐ Excelente
  - ☐ Bom
  - ☐ Razoável
  - ☐ Ruim
  - ☐ Péssima
2. A sua resposta deve indicar o grau de dificuldade para interagir com o AR Sandbox.
  - ☐ Sem esforço necessário.
  - ☐ Pouco esforço.
  - ☐ Médio esforço.
  - ☐ Bastante esforço .
  - ☐ Mesmo com muito esforço não consegui compreender.
3. A sua resposta deve indicar se a interface respondeu corretamente os seus movimentos.
  - ☐ Não respondeu a nenhum movimento.
  - ☐ Respondeu a poucos movimentos.
  - ☐ Respondeu a alguns movimentos.
  - ☐ Respondeu vários movimentos.
  - ☐ Respondeu todos os movimentos.
4. A sua resposta deve indicar se a representação do relevo são distinguíveis (facilmente observáveis).
  - ☐ Sim, percebo as curvas de nível com clareza.
  - ☐ Sim, percebo as curvas de nível com certa clareza.
  - ☐ As curvas de nível são claras o bastante.
  - ☐ Não, as curvas de nível não têm muita clareza.
  - ☐ Não, as curvas de nível não tem clareza alguma.
5. A sua resposta deve indicar se você notou anomalia durante a interação.
  - ☐ Não notei anomalias.
  - ☐ Sim, mas não gera incômodo.
  - ☐ Sim, gera pouco incômodo.
  - ☐ Sim, gera incômodo.
  - ☐ Sim, gera muito incômodo.
6. A sua resposta deve indicar se você achou o tempo de resposta dos movimentos adequado.
  - ☐ Sim.
  - ☐ Sim, mas mais lento do que deveria.
  - ☐ Sim, mas mais rápido do que deveria.
  - ☐ Não, muito lento.
  - ☐ Não, muito rápido.
7. A sua resposta deve indicar se você achou a interação com o AR Sandbox agradável.
  - ☐ Muito agradável
  - ☐ Agradável
  - ☐ Razoável
  - ☐ Desagradável
  - ☐ Muito desagradável