

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



Tese

**Framework DIMETA - Princípios para o Design de Interação de aplicações para
Mesas Tangíveis**

Vinicius Kruger da Costa

Pelotas, 2023

Vinicius Kruger da Costa

**Framework DIMETA - Princípios para o Design de Interação de aplicações para
Mesas Tangíveis**

Tese 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 Doutor em Ciência da Computação.

Orientadora: Prof. Dra. Tatiana Aires Tavares
Coorientadora: Prof. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

C837f Costa, Vinicius Kruger da

Framework dimeta - princípios para o design de interação de aplicações para mesas tangíveis / Vinicius Kruger da Costa ; Tatiana Aires Tavares, orientadora ; Adriane Borda Almeida da Silva, coorientadora. — Pelotas, 2023.

393 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Interação humano-computador. 2. Interação tangível. 3. Interface tangível do usuário. 4. Mesas tangíveis. 5. Design de interação. I. Tavares, Tatiana Aires, orient. II. Silva, Adriane Borda Almeida da, coorient. III. Título.

CDD : 005

Vinicius Kruger da Costa

**Framework DIMETA - Princípios para o Design de Interação de aplicações para
Mesas Tangíveis**

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

Data da Defesa: 25 de março de 2023

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Tatiana Aires Tavares (orientadora)

Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Profa. Dra. Adriane Borda Almeida da Silva (coorientadora)

Doutora em Filosofia e Ciências da Educação pela Universidad de Zaragoza /
Espanha

Profa. Dra. Isabel Cristina Siqueira da Silva

Doutora em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Tobias Tessmann Mülling

PhD em Interactive Technologies pela University of Brighton / Inglaterra

Prof. Dr. Tiago Thompsen Primo

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

AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo suporte incondicional nos momentos de dificuldade durante o desenvolvimento dessa Tese, seja com uma palavra de conforto, um abraço ou uma ajuda para fazer alguma tarefa. Pai, obrigado por me ajudar a finalizar a montagem da mesa.

A Guria, minha companheira canina, que me ajudou a passar pelo cenário de pandemia, mantendo a sanidade mental, me ensinando a ter responsabilidade, distribuindo afeto e sendo companheira nos diversos dias de escrita solitária.

A minha orientadora, profa. Tatiana, que além de ser minha referência técnica científica, também é um ser humano incrível que posso ter orgulho de chamar de amiga.

A minha coorientadora profa. Adriana, que me recebeu de braços abertos para desenvolvimento da mesa tangível junto a seu grupo de pesquisa. É um exemplo de pesquisadora incansável, energia criativa na proposição de ações que envolvam nossa comunidade, uma grande referência de profissional que o doutorado me apresentou.

Ao meu amigo, Leo, que topou fabricar comigo uma mesa tangível sem ao menos ter ideia do que seria esse objeto. Tuas contribuições e ideias estão presentes nessa Tese e nos trabalhos futuros.

Aos membros da banca, professores Tobias, Tiago e Isabel, pelas contribuições finais ao trabalho, pelo carinho na leitura. Em especial aos professores Tobias e Tiago que já acompanham há mais tempo essa trajetória e foram muito importantes para alcançar o objetivo final dessa Tese.

Ao pessoal amigo do Museu do Doce, prof. Roberto, William, Júlio, Oscar, meninas da limpeza, todos muito cordiais e simpáticos a causa, me auxiliando na montagem e manutenção da mesa naquele espaço. Saibam que vocês transformaram meus dias sempre para melhor.

A equipe do Grupo de Pesquisa GEGRADI, representadas pelas colegas Aline e Karine, que toparam efetuar testes e foram companhias das tardes de experimentos no Museu do Doce.

Ao prof. Evandro Preuss, que foi fundamental no processo de construção da mesa, orientando e auxiliando a configuração de todo o equipamento mesmo a distância. Estava sempre disponível e com boa vontade para ajudar.

A todos que de algum modo direto ou indireto contribuíram para que esse trabalho fosse realizado, desde os voluntários que participaram dos experimentos, colegas da Coordenadoria de Design do IFSul e do PPGC da UFPel, esse trabalho também é para vocês.

“Design é projetar um design para produzir um design”.
— JOHN HESKETT

RESUMO

COSTA, Vinicius Kruger da. **Framework DIMETA - Princípios para o Design de Interação de aplicações para Mesas Tangíveis**. Orientadora: Tatiana Aires Tavares. 2023. 395 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

As mesas tangíveis permitem formas naturais e sociais de interação. O espaço de superfície da mesa é adequado para aplicações colaborativas e usa as habilidades humanas de entender e manipular objetos físicos. Esta Tese tem o objetivo de propor um *framework* com princípios para o design de interação de aplicações para mesas tangíveis. Utilizando a metodologia de *Research through Design* desenvolveu-se: (a) um arcabouço teórico relacionado ao design de interação e mesas tangíveis, com seu estado da arte, tecnologias de implementação (b) uma discussão entre a visão de especialistas na área com a realidade de mercado sobre esse dispositivo; e (c) ciclos de experimentos com o uso da mesa tangível que oportunizaram discussões do conhecimento teórico até a prática. A contribuição desse trabalho é a construção de diretrizes projetuais que consideram as características desse dispositivo, sua interface, suas potencialidades e limitações, sendo uma ferramenta de auxílio para desenvolvedores e designers de interação.

Palavras-chave: Interação Humano-Computador. Interação Tangível. Interface Tangível do Usuário. Mesas tangíveis. Design de interação.

ABSTRACT

COSTA, Vinicius Kruger da. **DIMETA Framework - Principles for the Interaction Design of Applications for Tangible Tabletops**. Advisor: Tatiana Aires Tavares. 2023. 395 f. Thesis (Doctorate in Computer Science) – Technology Development Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Tangible tabletop allows natural and social forms of interaction. The table's surface space is suitable for collaborative applications and uses human abilities to understand and manipulate physical objects. This thesis aims to propose a framework with principles for the interaction design of applications for tangible tabletops. Using the methodology of Research through Design it was developed: (a) a theoretical background related to interaction design and tangible tabletops, with its state-of-the-art, implementation technologies (b) a discussion between the vision of specialists and the market reality about this device; and (c) cycles of experiments with the use of the tangible tabletop that provided opportunities for discussions from theoretical knowledge to practice. Thus, the contribution is the construction of design guidelines that consider the characteristics of this device, its interface, potential, and limitations, being an aid tool for developers and interaction designers.

Keywords: Human-Computer Interaction. Tangible Interaction. Tangible User Interface. Tangible tabletop. Interaction Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Interagir via forma tangível (física) representações de informações digitais, TUIs tornam as informações manipuláveis por <i>feedback</i> tátil, visual e até háptico. Representação intangível (como projeção de vídeo, por exemplo) pode complementar a representação tangível. Fonte: Autor (2022) baseado em Ishii (2008a)	21
Figura 2	Comparação de uso e de características entre uma GUI e uma TUI. Fonte: Autor (2022)	24
Figura 3	Mesa tangível e os elementos de interação: área do tampo da mesa e os manipuladores tangíveis (<i>tokens</i>). Fonte: Autor (2022)	25
Figura 4	Intersecção da área de conhecimento de Design de Interação com o tipo de interação TUI no dispositivo mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	27
Figura 5	Dimensões gerais da mesa tangível em relação a uma escala média com medidas de usuários. Fonte: Autor (2022)	30
Figura 6	Pessoa com deficiência motora jogando Doce Labirinto (à esquerda) com o <i>storyboard</i> de mapeamento de ações gestuais para interação (à direita) Fonte: Autor (2017)	31
Figura 7	Aplicação AR Sandbox na UFPel. Fonte: Darley (2021)	31
Figura 8	Processo de construção de mesa tangível. Fonte: Autor (2020) . . .	32
Figura 9	Mesa tangível em uso no Museu do Doce da UFPel Fonte: Autor (2022)	33
Figura 10	Etapas gerais da metodologia <i>Research Trought Design</i> . Fonte: Autor (2022) adaptado de Plomp; Nieveen (2010)	36
Figura 11	Fluxo de etapas da metodologia com entradas e saídas de resultados. Fonte: Autor (2022)	40
Figura 12	Disciplinas ao redor do Design de Interação Fonte: Autor (2022) adaptado de Saffer (2010)	43
Figura 13	Metas de Usabilidade (ao centro) e de Experiência de Usuário (ao redor). Fonte: Autor (2022) adaptado de Preece; Rogers; Sharp (2013)	44
Figura 14	Uma comparação do modelo de implementação, modelo mental do usuário e modelo representado (ao centro) na UI. Fonte: Autor (2022) adaptado de Cooper et al. (2014)	49
Figura 15	Estágios de atividade do usuário na travessia dos golfos de execução e avaliação. Fonte: Autor (2022) adaptado de Norman (1991) .	50

Figura 16	Diagrama visual dos planos de experiência do usuário Fonte: Autor (2022) adaptado de Garret (2011)	54
Figura 17	Diagrama de relações do <i>framework</i> PACT. Fonte: Autor (2022) adaptado de Benyon (2013)	55
Figura 18	Cartões perfurados - uma das primeiras interfaces com computadores, bem como um meio de armazenamento de dados (à esquerda). No início dos anos 80 (1981) a Xerox desenvolvia seu primeiro conceito de GUI (à direita), interface que quase eliminou interações por linha de comando até o final da década. Fonte: Autor (2022) baseado em Galitz (2007) e Saffer (2010)	61
Figura 19	Metáfora do iceberg para evolução das UI. Fonte: Ishii (2008)	66
Figura 20	Reactable (à esquerda) e usuários manipulando os <i>tokens</i> sobre a mesa (ao centro e à direita) Fonte: reactable.com (2022)	68
Figura 21	Ferramenta Topobo, gênero de TUI de construção Fonte: www.topobo.com (2021)	69
Figura 22	(a) Modelo de interação GUI - MVC (b) Modelo de interação TUI - MCRpd Fonte: Autor (2022) baseado em Ullmer; Ishii (2000)	71
Figura 23	Exemplos de comportamentos dos elementos de interação, segundo paradigma TAC, em uma mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	73
Figura 24	<i>Framework</i> sobre o espaço físico e a interação social Fonte: Autor (2022) adaptado de Hornecker; Buur (2006)	75
Figura 25	<i>Token</i> que conjuga sensores embarcados no <i>smartwatch</i> com o reconhecimento por visão computacional e sensores para <i>feedback</i> em leds. Fonte: Arif et al. (2016)	82
Figura 26	Visualização da rede de genes em gráficos manipulados pelos <i>tokens</i> ativos. Fonte: Arif et al. (2016)	82
Figura 27	Visão de interação do design final com as caixas de medicamentos em cima da mesa, as quais são reconhecidas por CV e disponibilizam as informações projetando-as em torno das caixas. Fonte: De croon et al. (2017)	82
Figura 28	Tipos de interações/movimentos possíveis entre <i>tokens</i> passivos em relação a mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	83
Figura 29	Características de interação dos usuários no espaço da mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	83
Figura 30	Disposição dos usuários ao redor da mesa tangível. Fonte: Autor(2022) baseado em Tang et al. (2006)	86
Figura 31	Distribuição das áreas das aplicações desenvolvidas na RSL. Fonte: Autor (2021)	88
Figura 32	<i>Storyboard</i> com processo de interação de pessoas com deficiência visual no uso do Tangible Reel na mesa tangível com um mapa que gera <i>feedback</i> sonoro. Fonte: Du; Rit (2016)	89
Figura 33	Distribuição de modelos de mesas interativas tangíveis no desenvolvimento das aplicações listadas na RSL. Fonte: Autor(2021) . . .	92
Figura 34	Marcadores fiduciais padrões do reacTIVision. Fonte: Kaltenbrunner; Bencina (2007)	98
Figura 35	Arquitetura de funcionamento reacTIVision e TUIO em conjunto Fonte: Autor (2022) baseado em Preuss et al. (2020)	99

Figura 36	Arquitetura de alto nível do sistema de blocos sobrepostos (à esquerda) e esquema de implementação de cada um dos três envolvidos na construção dos blocos (à direita) Fonte: Maquil et al. (2017)	101
Figura 37	Modelo de <i>widget</i> baseado em MCRit (à esquerda) e arquitetura de implementação do TULIP (à direita) Fonte: Tobias; Maquil; Latour (2015)	102
Figura 38	Usuários manipulando a mesa tangível Microsoft Surface. Fonte: Microsoft [S.d.]	103
Figura 39	Mesa Samsung SUR40 Fonte: Samsung [S.d.]	104
Figura 40	Mesa <i>multitouch</i> que reconhece objetos Fonte: Multitacion [S.d.]	105
Figura 41	Crianças interagindo com a Playtable. Fonte: Playmove [S.d.]	106
Figura 42	Protótipo do NIKVision com atividades e gráficos 2D (à direita) e 3D (à esquerda). Fonte: Marco; Baldassarri; Cerezo (2013)	106
Figura 43	Protótipo do TangiSense. Fonte: Kubicki et al. (2009)	107
Figura 44	Mesas tangíveis interativa Fonte: Preuss et al. (2019)	107
Figura 45	Estratégia dos ciclos iterativos de experimentos Fonte: Autor (2023)	124
Figura 46	Captura de telas do editor de aplicações para mesa tangível Eduba. À esquerda repositório de aplicações submetidas a plataforma e à direita uma tela interna do editor demonstrando sua interface gráfica. Fonte: Autor (2023)	125
Figura 47	Arquitetura de implementação da mesas tangíveis. Fonte: Autor (2022) baseado em Preuss et al. (2020)	126
Figura 48	Voluntários do grupo focal interagindo coletivamente com a mesa interativa tangível (à esquerda) e modelo de <i>tokens</i> utilizados (à direita). Fonte: Autor (2022)	127
Figura 49	Colocação da mesa tangível no espaço do museu Fonte: Autor (2022)	132
Figura 50	Detalhe dos tokens (à esquerda) e usuários manipulando-os com a mesa tangível (à direita). Fonte: Autor (2022)	133
Figura 51	Visitantes interagindo com a aplicação na mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	135
Figura 52	Estudantes interagindo com mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	138
Figura 53	Estudantes em dinâmica interagindo com a mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	138
Figura 54	Gráficos de experiência do usuário dos três grupos gerados pelo Attrackdiff. Fonte: Autor (2022)	140
Figura 55	Diagrama de classes feito pelos estudantes	141
Figura 56	Jogo <i>Snake</i> criado pelos estudantes para mesa tangível. Fonte: Autor (2022)	142
Figura 57	Jogo desenvolvido pelos estudantes para mesa tangível durante oficina de criação. Fonte: Autor (2022)	143
Figura 58	Aplicações de <i>frameworks</i> TAC, MCRpd e interação baseada em realidade no contexto da mesa tangível. Fonte: Autor (2023)	146
Figura 59	Mapa mental de relacionamento de atributos para análise de design de interação em mesa tangível. Fonte: Autor (2023)	153
Figura 60	Aplicativo do experimento sendo utilizado por usuários. Fonte: Autor (2023)	156

Figura 61	Configuração de arranjo padrão com exemplos de tarefas realizadas. Fonte: Autor (2023)	157
Figura 62	Tempos médios em cada tarefa com diversas formas de característica de interação com o <i>token</i> em relação ao <i>constraint</i> Fonte: Autor (2023)	162
Figura 63	Sequência de fotos das tarefas, à esquerda ambas com uso de áreas entendidas como pessoais no tampo da mesa, à direita áreas centrais geram percepção de área comum ou compartilhada. Fonte: Autor (2023)	162
Figura 64	Sequencia de fotos das tarefas, à esquerda participante arrastando elemento para o outro lado da mesa, ao centro usuário arrastando elemento para sua área pessoal e à direita todos conduzido seus <i>tokens</i> ao centro da mesa. Fonte: Autor (2023)	163
Figura 65	Disciplinas ao redor do design de interação (à esquerda) e o <i>locus</i> de inserção dessa Tese (à direita) Fonte: Autor (2022) adaptado de Saffer (2010)	171
Figura 66	Estudantes produzindo protótipo de baixa fidelidade de aplicação para mesa tangível. Fonte: Autor (2023)	182
Figura 67	Desgaste apresentado pelo fiducial anexado ao <i>token</i> gerado pela manipulação desse sobre a mesa. Fonte: Autor (2023)	190

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Abordagens para o design de interação. Fonte: Autor (2022) baseado em Saffer (2010) e Shneiderman et al. (2016)	52
Tabela 2	Comparação de tecnologias de implementação em mesas tangíveis usando as propriedades acima. Fonte: Autor (2022) baseado em Shaer; Hornecker (2010)	98
Tabela 3	Principais frameworks para mesa tangível. Autor: Preuss et al. (2020)	100
Tabela 4	Perfil dos especialistas entrevistados.	109
Tabela 5	Valores da Escala SUS entre os grupos	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACM	Association for Computing Machinery
API	Application Programming Interface
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CV	Computer Vision
DCU	Design Centrado no Usuário
DOF	Degree of Freedom
GEGRADI	Grupo de Estudos de Ensino e Aprendizagem de Representação Gráfica e Digital
GUI	Graphical User Interface
IHC	Interação Humano Computador
IoT	Internet of Things
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IOM	Interface Óculos Mouse
IxD	Interaction Design
ISO	International Organization for Standardization
MBA	Mecanismos de Busca Acadêmica
MCV	Model-View-Control
MCRpd	Model Control Representation Phisical/Digital
OMS	Organização Mundial da Saúde
RFID	Radio Frequency Identification
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
RtD	Research through Design
SDK	Software Development Kit
SO	Sistema Operacional
SUS	Scale Usability System
TAC	Tokens and Constraint

TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
TUI	Tangible User Interface
UI	User Interface
UX	User Experience
WIMP	Windows, Icons, Menus and Pointer

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Contexto geral	20
1.2	Justificativa	24
1.3	Problema, questões de pesquisa e objetivos	26
1.4	Contribuições	28
1.5	Delimitação do cenário da pesquisa	28
1.6	Projetos relacionados	30
1.7	Organização da Tese	33
2	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	35
2.1	<i>Research Trought Design (RtD)</i>	35
2.2	Etapas da pesquisa e entregáveis	37
2.3	Considerações éticas	39
3	ARCABOUÇO TEÓRICO	42
3.1	Design de interação	42
3.1.1	Conceituação e princípios básicos do design de interação	42
3.1.2	Processos e abordagens projetuais para design de interação	51
3.1.3	Avaliação: Abordagens, métodos e instrumentos	55
3.1.4	Estilos de interação: evolução e cenário atual	60
3.1.5	Considerações sobre design de interação	62
3.2	Interfaces Tangíveis do Usuário	64
3.2.1	Conceituação, gêneros de aplicação, possibilidades e limitações	64
3.2.2	<i>Frameworks</i> de interfaces tangíveis do usuário	69
3.2.3	Avaliação em interfaces tangíveis	76
3.2.4	Considerações sobre as TUIs	78
3.3	Discussão	78
4	MESAS TANGÍVEIS	80
4.1	Definição e características	80
4.2	Design de interação em mesas tangíveis	83
4.2.1	Interação bimanual e cruzada	83
4.2.2	Graus de liberdade	84
4.2.3	Autoridade	85
4.2.4	Arranjo espacial dos usuários	85
4.3	Estado da Arte sobre mesas tangíveis	87
4.4	Tecnologias de implementação	95
4.5	<i>Frameworks</i> para mesas tangíveis	99

4.6	Soluções de mercado	103
4.7	Visão de especialistas	107
4.8	Discussão	118
5	CICLOS ITERATIVOS DE EXPERIMENTOS	123
5.1	Estratégia e infraestrutura dos experimentos	123
5.2	Ciclo 01 - grupo focal	126
5.3	Ciclo 02 - observações empíricas	131
5.4	Ciclo 03 - observações dirigidas	136
5.5	Ciclo 04 - oficina de criação de aplicação	141
5.6	Categorias para análise de interação na mesa tangível	145
5.7	Ciclo 05 - análise de características para interação na mesa	154
5.8	Discussão	166
6	FRAMEWORK DIMETA	170
6.1	Delimitação do escopo	170
6.2	DIMETA	172
6.2.1	Definições iniciais da aplicação para mesa tangível	174
6.2.2	Planejamento geral da aplicação para mesa tangível	174
6.2.3	Definindo o <i>token</i>	175
6.2.4	Definindo restrições e comportamentos	178
6.2.5	Avaliação da aplicação	179
6.3	Validação de aplicabilidade	180
7	CONCLUSÕES	186
7.1	Discussão sobre os objetivos e questões de pesquisa	186
7.2	Validação de resultados através do RtD	187
7.3	Contribuições da tese	188
7.4	Limitações do trabalho	191
7.5	Trabalhos futuros	193
	REFERÊNCIAS	195
APÊNDICE A	PROTOCOLO DE RSL SOBRE O PROJETO, IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTERFACES TANGÍVEIS EM MESAS	205
APÊNDICE B	PROTOCOLO DE RSL SOBRE AVALIAÇÃO EM INTERFACES TANGÍVEIS DO USUÁRIO	237
APÊNDICE C	TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - CESSÃO DE DIREITO DE USO DE GRAVAÇÃO E REGISTRO DE ENTREVISTA PARA FINS EDUCACIONAIS/CIENTÍFICOS	274
APÊNDICE D	ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA COM ESPECIALISTAS SOBRE O DESIGN DE INTERAÇÃO PARA APLICATIVOS EM MESAS TANGÍVEIS.	276
APÊNDICE E	QUESTIONÁRIO DE SISTEMA DE ESCALA DE USABILIDADE (SUS)	278
APÊNDICE F	QUESTIONÁRIO EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO - ATTRACKDIFF	281

APÊNDICE G	ROTEIRO GRUPO FOCAL DE EXPERIMENTAÇÃO DA MESA TANGÍVEL	288
APÊNDICE H	PROTOCOLO DE OBSERVAÇÕES MESA TANGÍVEL NO MUSEU DO DOCE	291
APÊNDICE I	TESTES ESTATÍSTICOS T-STUDENT E ANOVA APLICADOS NOS VALORES DE ESCALA SUS	293
APÊNDICE J	ROTEIRO DO EXPERIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESIGN DE INTERAÇÃO COM A MESA TANGÍVEL.	296
APÊNDICE K	QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESIGN DE INTERAÇÃO COM A MESA TANGÍVEL. . . .	298
APÊNDICE L	TESTES ESTATÍSTICOS SOBRE QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESIGN DE INTERAÇÃO COM A MESA TANGÍVEL	316
APÊNDICE M	LISTA DE TAREFAS E TESTES ESTATÍSTICOS SOBRE OS TEMPOS DE EXECUÇÃO NA MESA TANGÍVEL	332
APÊNDICE N	PLANILHA COM OS TEMPOS DE EXECUÇÃO DE TAREFAS NA MESA TANGÍVEL	342
APÊNDICE O	GRUPO FOCAL - ANÁLISE DE APLICABILIDADE DO DIMETA	344
ANEXO A	PARECER CONSUBSTANCIADO DA COMISSÃO DE ÉTICA E PESQUISA CEP FAMED	346
ANEXO B	METHODOLOGIES AND EVALUATION TOOLS USED IN TANGIBLE USER INTERFACES: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW	353
ANEXO C	THE POTENTIAL OF USER EXPERIENCE (UX) AS AN APPROACH OF EVALUATION IN TANGIBLE USER INTERFACES (TUI) .	363
ANEXO D	MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÕES EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS	383

1 INTRODUÇÃO

Fazer gestos em frente as câmeras, manipular objetos sobre uma mesa, tocar em telas, movimentar a cabeça ou simplesmente falar. As últimas décadas têm mudado a maneira como humanos e máquinas se relacionam. Interfaces do usuário (*User Interface* - UI) têm se desenvolvido enquanto novas tecnologias computacionais permitem tipos de interações mais naturais, com entradas/saídas de dados que se misturam aos objetos do cotidiano.

“As tecnologias mais profundas e duradouras são aquelas que desaparecem. Elas dissipam-se nas coisas do dia a dia até tornarem-se indistinguíveis.” (WEISER, 1999)

Um dos desafios do campo de investigação em Interação Humano-Computador (IHC) é justamente dar conta dessas rápidas evoluções tecnológicas, usando seu máximo potencial, porém garantindo, simultaneamente, relevância para a sociedade e cultura (VIEIRA; BARANAUSKAS, 2003).

Da interface por linhas de comando, na qual a comunicação era feita na linguagem das máquinas, chegaram-se as interfaces naturais que suportam o uso da voz, gestos e a manipulação de objetos físicos (tangível). Essa aproximação, das interfaces com a linguagem e consciência sensorial dos humanos, ampliou o leque de possibilidades e de atribuições do design de interação nesses novos contextos de uso da tecnologia.

O objeto principal dessa Tese busca justamente explorar uma dessas possibilidades em evolução das UI, com o uso da interface tangível (*Tangible User Interface* - TUI), especificamente relacionada ao dispositivo mesa tangível. Nesta breve introdução apresentam-se: uma visão geral de desenvolvimento desse trabalho, com uma definição de contexto sobre a área de pesquisa e do dispositivo mesa tangível (Item 1.1); segue com as justificativas da relevância e pertinência desse estudo (Item 1.2) e apresenta o problema de pesquisa com objetivos gerais e específicos (Item 1.3). Ao final da introdução apresentam-se as contribuições e limitações da Tese (Itens 1.4 e 1.5), os projetos relacionados e a organização dos capítulos (Itens 1.6 e 1.7).

1.1 Contexto geral

“Vivemos em um mundo complexo, repleto de uma miríade de objetos, ferramentas, brinquedos e pessoas. Nossas vidas são gastas em diversas interações com este ambiente. No entanto, na maior parte do tempo, lidamos com a computação sentados na frente e olhando para uma única tela brilhante, conectada a uma série de botões e um mouse.” (WELLNER; MACKAY; GOLD, 1993)

Mesmo com as possibilidades geradas pela tecnologia, que possibilitam interações mais naturais, o paradigma de entrada/saída (*input/output* - I/O) de dados com os sistemas computacionais ainda é dado pela Interface Gráfica do Usuário (*Graphical User Interface* - GUI). A GUI surgiu como facilitadora no processo de popularização do computador como ferramenta de trabalho e lazer, pois utiliza metáforas visuais gráficas como base de interação em um “espaço de tela” (GALITZ, 2007).

O princípio de interação com a GUI é simples, basta o usuário entender que para fazer algo no computador o funcionamento se dá de forma “similar” ao mundo real, por exemplo, para excluir um arquivo é necessário só arrastá-lo com o apontador para o ícone da lixeira, para abrir um determinado grupo de documentos é necessário abrir uma estrutura de pastas, tal como se faz em um escritório de verdade. A GUI consolidou-se como esse paradigma de interação com os sistemas computacionais na medida que os usuários foram entendendo seus elementos e construindo, a partir deles, modelos mentais de interação. Todo ícone pode ser clicado, todo menu pode ser aberto, toda janela ampliada, e tudo isso possível como uma “mão invisível” do apontador que manipula esses elementos na tela.

A interação é dada pela manipulação direta, na qual objetos digitais devem ser projetados na interface virtual gráfica, de modo que possam sofrer interação de modo análogo ao que ocorre com objetos físicos, permitindo que os usuários tenham a sensação de controle direto desses objetos digitais na tela do computador. Isso ajuda usuário iniciantes, possibilita usuários experientes, mais produtividade, reduz ansiedades e ajuda todo e qualquer perfil de usuário a ganhar confiança e habilidade ao se sentir no controle (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

As metáforas de uso com manipulação direta dos objetos digitais (possibilitadas pelo uso do mouse e do teclado) e a popularização de mercado do computador pessoal, com uso de sistemas operacionais que privilegiaram a GUI (Mac OS e Microsoft Windows), foram os fatores determinantes para consolidação desse modelo de interface como onipresente na relação cotidiana das pessoas com os computadores (GALITZ, 2007). Além disso, soma-se a versatilidade de receber diversos tipos de mídias e aplicações dentro do mesmo espaço de tela e sua fácil adaptabilidade a diversos tamanhos e contextos de uso, tais como: no uso de *smartphones*, *tablets*, painéis de

eletrodomésticos, automóveis (*head up display*) e embutidas em tecnologias vestíveis (*smartwatches*), por exemplo.

Contudo, o paradigma WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointers*) da interface gráfica permite a interação através das metáforas de uso de maneira direta em "objetos digitais", sem aproveitar a capacidade física de manipular "objetos reais" e tampouco utilizar as possibilidades computacionais disponíveis hoje com relação a materiais, sensores, etc (HORNECKER; BUUR, 2006).

As GUIs não abrangem a riqueza dos sentidos e habilidades humanas que as pessoas desenvolveram ao longo de uma vida inteira de interação com o mundo físico. Nossa tentativa é transformar "bits pintados" em "bits tangíveis", aproveitando os múltiplos sentidos e a multimodalidade das interações humanas com o mundo real. Acreditamos que o uso de objetos apreensíveis e mídia ambiente nos levará a uma experiência multissensorial muito mais rica de informação digital. (ISHII; ULLMER, 1997)

Ishii (2008a) apresenta que o propósito das TUI é justamente romper a barreira da tela e dar formas físicas à informação digital, aproveitando assim a capacidade humana de compreender e manipular objetos físicos. Portanto, se em uma TUI o elemento físico é o dispositivo de I/O de dados da interface (Figura 1), pode-se presumir que o processo de interação seja mais intuitivo e natural para o usuário, justamente por utilizar a analogia do mundo real.

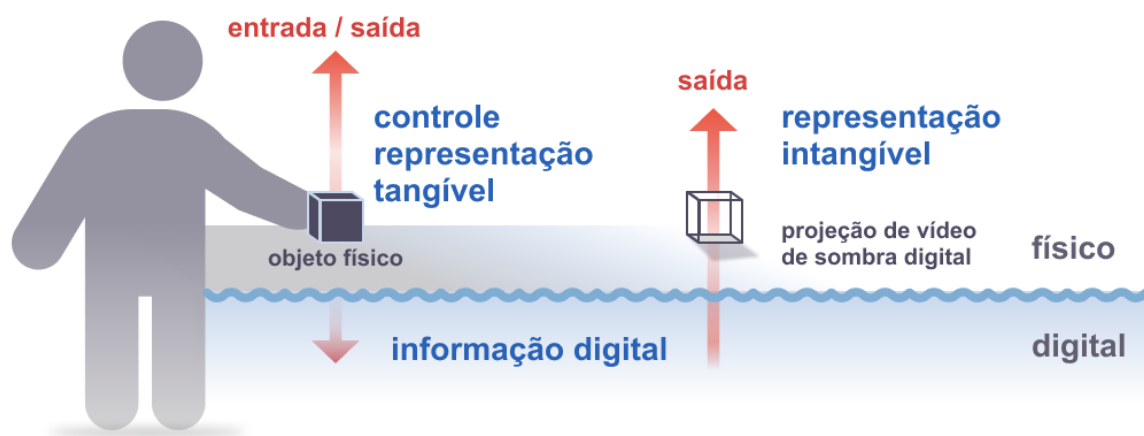


Figura 1 – Interagir via forma tangível (física) representações de informações digitais, TUIs tornam as informações manipuláveis por *feedback* tátil, visual e até háptico. Representação intangível (como projeção de vídeo, por exemplo) pode complementar a representação tangível. Fonte: Autor (2022) baseado em Ishii (2008a)

A área de IHC têm pesquisado as TUI e diversas abordagens pós-WIMP há pelo menos duas décadas. Através das contribuições de toda a comunidade, o termo "in-

teração tangível", conceituado pela primeira vez pelo pesquisador Hiroshi Ishii (ISHII; ULLMER, 1997) e seu grupo de pesquisa *Tangible Media Group*, consolidou-se como campo de pesquisa. Contudo, Shaer et al. (2004) já citavam os desafios gerados no desenvolvimento e implementação de TUIs, e que persistem até hoje, apesar dos benefícios oportunizados por esse tipo de interface:

- Conexões entre o virtual e o físico: enquanto a GUI depende apenas de objetos virtuais manipulados em um único local (tela) as TUI usam objetos físicos e virtuais, que por vezes coexistem e trocam informações entre si.
- Múltiplos comportamentos e ações: numa interface gráfica cada elemento funciona carregando seu comportamento e modo como pode ser manipulado em um padrão de interação criado. Numa interação tangível, a natureza do objeto físico não define por si só seu comportamento. Cada um dos objetos físicos, o espaço no qual estão colocados e a relação deles entre si pode alterar seus comportamentos de uso e as ações que podem ser executadas com eles (apertar, girar, arrastar, por exemplo).
- Sem dispositivos padrões de I/O: diversos tipos de tecnologias computacionais podem ser usadas de forma combinada para obter rastreamento e conexão entre os objetos reais e virtuais, como sensores (RFID), visão computacional (*Computer Vision* - CV).
- Falta de portabilidade e intercambiabilidade: A integração das diversas tecnologias no processo de construção de uma TUI originam dispositivos que não são portáteis, sendo disponibilizados em locais específicos como laboratório e museus. Além disso, a falta de uma tecnologia padrão não permite que uma determinada aplicação funcione em dispositivos TUI diversos, já que cada aplicativo se relaciona especificamente aquele contexto.
- Interação contínua e distribuída: os usuários manipulam continuamente os objetos físicos, que são diretamente mapeados pelo sistema, o que é um desafio quando se pensa em diversas tecnologias computacionais interligadas, gerando uma série de dificuldades de implementação e interação. Além desse "mapear contínuo" a complexidade aumenta na medida que existem diversas entradas de dados (objetos), através das quais vários usuários podem interagir simultaneamente.

Diante desses obstáculos, pesquisadores tentaram compreender e estabelecer relações entre os diversos elementos que estão presentes na interação tangível através da criação de diversas estruturas (MAZALEK; VAN DEN HOVEN, 2009). Vários *frameworks* são conceituais, como o paradigma TAC (*Token and Constrain*) proposto por

Shaer et al. (2004) e o modelo MCRpd (*Model Control Representation physical/digital*) criado por Ullmer; Ishii (2000); outros buscam definições de taxonomia e categorização (FISHKIN, 2004) e alguns são *toolkits* de implementação (SHAER; HORNECKER, 2010) como as proposições de Kaltenbrunner et al. (2005) (TUIO) e Tobias; Maquil; Latour (2015) (TULIP) (ver mais detalhes no Item 3.2.2).

Preece; Rogers; Sharp (2013) sugerem que *frameworks*, da forma como são desenvolvidos e usados, podem ser ferramentas úteis aos designers de interação, principalmente por auxiliar na definição do escopo de uma determinada experiência do usuário com uma interface. Eles fornecem modelos preditivos com orientações prescritivas através de uma diversidade de formas que podem incluir etapas, perguntas, conceitos, desafios, princípios, heurísticas, problemas e dimensões (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

"Um framework é formado por um conjunto de diretrizes (guidelines) e princípios que orientam o designer na tomada de decisões consistentes através dos elementos que constituem o produto e devem ser entendidas e aplicadas de forma contextualizada." (VIEIRA; BARANAUSKAS, 2003).

Diante das possibilidades tecnológicas e de toda teoria produzida no campo específico de pesquisa em TUI, percebe-se que alguns tipos de dispositivos de interação tangível têm um uso mais difundido, pois de alguma forma resolvem melhor as barreiras apresentadas anteriormente. Na Revisão Sistemática de Literatura (RSL) publicada por Costa et al. (2018) a mesa tangível é apresentada como o dispositivo mais utilizado no desenvolvimento de aplicações e pesquisas relacionadas a TUI nos últimos anos.

As mesas tangíveis, ou *tangible tabletops*, possibilitam formas de interação mais naturais e sociais, uma vez que o espaço interativo das superfícies (tampo da mesa) é especialmente adequado para o uso de aplicações colaborativas (FALCÃO et al., 2018). Sendo um dispositivo de interface tangível, não utiliza somente o sentido visual, extrapolando para além da tela da interface gráfica, permitindo o tocar, manipular, moldar diversos elementos físicos no processo de interação. Todas essas características tornam as *tangible tabletops* cada vez mais exploradas em ambientes que necessitam aprofundar o uso dos sentidos, sendo os contextos de educação não formal (como museus, laboratórios, etc) destinos principais dessas aplicações (DE RAFFAELE; SMITH; GEMIKONAKLI, 2017).

Pode-se estabelecer algumas comparações gerais entre as possibilidades oferecidas com a interação em mesas tangíveis e as interfaces gráficas disponíveis em pequenas telas (Figura 2). Enquanto as mesas tangíveis são de manipulação direta e ativa em contextos específicos, menor precisão e mais adequadas a tarefas colabo-

rativas; GUIs oportunizam mais foco (isolamento) e precisão, contextos variados com um controle mediado por entradas como mouse, teclado ou toque.

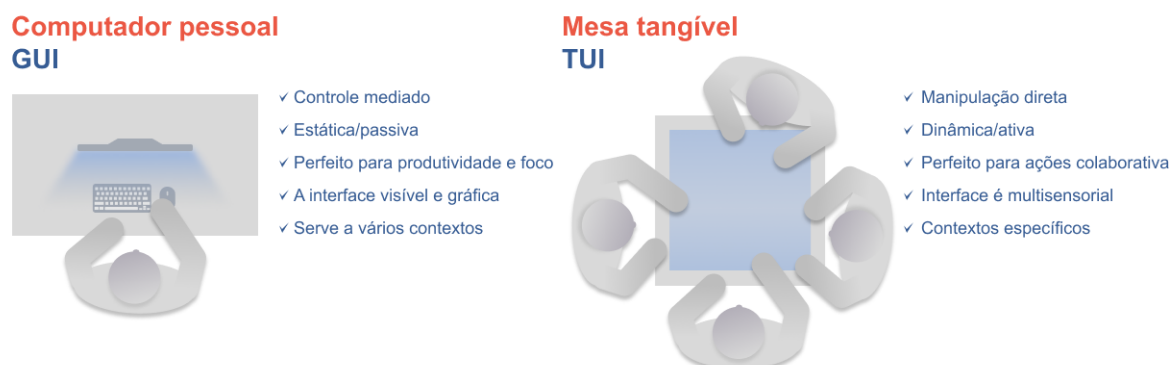


Figura 2 – Comparação de uso e de características entre uma GUI e uma TUI. Fonte: Autor (2022)

Outro aspecto relevante é que todas as mesas tangíveis apresentam características básicas similares, mesmo que construídas com tecnologias computacionais diferentes (COSTA et al., 2019). Essas similaridades surgem, por exemplo, na área de interação no tampo da mesa e utilização de manipuláveis tangíveis (*tokens*), conforme ilustrado na Figura 3. *Toolkits* de implementação específicos para esse dispositivo como o TUIO ¹ (KALTENBRUNNER et al., 2005), de visão computacional como o re-actIVision ² (KALTENBRUNNER; BENCINA, 2007) e de ferramentas de autoria de aplicações como o Eduba ³ (PREUSS et al., 2020), começam a criar condições que possibilitam o desenvolvimento de aplicações que podem ser utilizadas em diversas mesas tangíveis (ver mais detalhes no Item 4.4).

Percebe-se, entretanto, que apesar do crescente interesse em pesquisas com esse dispositivo, de suas características solucionarem em alguma medida os desafios endereçados anteriormente as TUI, dos benefícios gerados aos usuários com uso dessa interação, há uma lacuna com relação à concepção do projeto para o design de interação desse tipo de UI, pensando nos diversos fatores envolvidos e as relações desses com o usuário final em um determinado contexto de uso.

1.2 Justificativa

Mesas tangíveis têm um grande potencial de uso para diversas áreas do conhecimento. Interfaces compartilhadas se tornarão realidade na medida que a própria computação ubíqua resolver o modo como os objetos se comunicam, através de protocolos que sejam escalados a todas as plataformas e entre diversas empresas e suas soluções comerciais (COSTA et al., 2019).

¹<https://www.tuio.org/>

²<https://reactivision.sourceforge.net/>

³<https://nidaba.online>

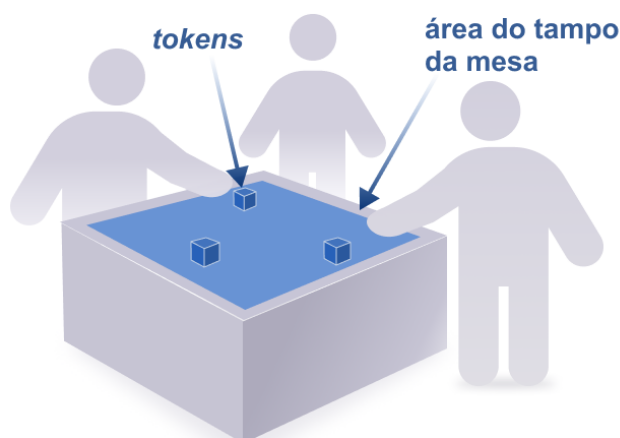


Figura 3 – Mesa tangível e os elementos de interação: área do tampo da mesa e os manipuladores tangíveis (*tokens*). Fonte: Autor (2022)

Estas mesas poderão estar presentes em ambientes de interação compartilhada e as aplicações, que hoje são específicas a um determinado uso, serão mais genéricas e aplicáveis a contextos mais amplos. É necessário serem compreendidos todos os elementos presentes no processo de interação tangível nas mesas com o usuário, qual o impacto de cada um deles no ato de projetar uma aplicação nesse cenário.

A carência de orientações para o design de interação que utiliza esses dispositivos já havia sido elencada por Shaer; Hornecker (2010) como um dos desafios para estabelecimento de novos projetos nessa plataforma. Dois estudos recentes, Li et al. (2022) e Rodić; Granić (2022), apresentaram uma extensa revisão sobre artigos publicados com foco em TUI, através dos quais concluíram que todos os benefícios de uso desse tipo de interface são inegáveis (interação colaborativa, intuitividade, criatividade, etc), contudo sinalizam que as preocupações das pesquisas em geral se direcionam as tecnologias envolvidas na construção, nos efeitos gerados pelos dispositivos, negligenciando o ato de projetar a aplicação.

Isso foi reforçado pela RSL desenvolvida para definição de estado da arte sobre mesas tangíveis (ver mais detalhes no Item 4.3 e no Apêndice A - Protocolo de RSL sobre o projeto, implementação e avaliação de interfaces tangíveis em mesas) contida nessa Tese, a qual apresentou poucos artigos que detalharam o processo de design de interação da aplicação. Nessa RSL (artigos publicados nos últimos 5 anos) os resultados apontam não haver um padrão, tão pouco uma definição de lista mínima de requisitos que possa ser um ponto de partida para criação de uma aplicação para mesa tangível. Cada artigo apresenta o seu desenvolvimento, com comportamentos bem díspares na atenção dada com a etapa de criação/planejamento da interação com a aplicação.

Desenvolveram-se novas tecnologias do ponto de vista computacional que per-

mitem avanços de propostas de aplicações, contudo, existe um campo de pesquisa disponível para sistematizar os aspectos projetuais, com padrões específicos para esse design de interação. Espera-se que o uso de mesas tangíveis em espaços de educação não formal e como entretenimento seja ampliado, e soluções comerciais de interfaces compartilhadas - não necessariamente em TUI - utilizem essa dinâmica de interação cada vez mais, como em largas telas multi toque, por exemplo.

Hoje as abordagens e instrumentos para o design de interação das UI dos dispositivos de uso cotidiano como, por exemplo, *smartphones* e computadores, são baseadas no paradigma WIMP. Os padrões e modelos mentais hoje existentes para interação com a interface gráfica, em algum momento, romperam com o paradigma anterior de UI que utilizava a interface orientada pela linguagem de máquina. Dessa forma, pode-se admitir, como hipótese, que mesmo já com vários esforços da comunidade sobre pesquisas em TUI e as mesas tangíveis, ainda existe um longo caminho para consolidação dos modelos mentais de padrão de interação para esse contexto.

Considerando esse cenário anterior, podemos perceber que mesmo com quantidade crescente de trabalhos publicados durante os últimos anos, há carência de abordagens projetuais que possam fazer para o design de interação com mesas tangíveis, o que os *toolkits* TUIO e ReactVision fizeram pela parte de implementação. Essas ferramentas possibilitaram uma maior profusão de pesquisas e modelos de mesas tangíveis, contudo sem uma base inicial que otimize e organize o processo de design de interação das aplicações executadas nesse dispositivo.

O que dá início a uma discussão sobre quais as melhores estratégias que poderiam ser utilizadas para o projeto das interfaces tangíveis de mesa. Percebe-se, portanto, um *gap* de pesquisa para produção de um *framework* projetual (Figura 4) que possa servir de base para o desenvolvimento de aplicações para mesas tangíveis.

Justifica-se, portanto, os esforços na continuidade de pesquisas que têm por objetivo investigar esse cenário de interação, o qual se apresenta com tantas potencialidades e benefícios.

1.3 Problema, questões de pesquisa e objetivos

Uma das questões centrais desse trabalho é estabelecer que a forma de se interagir com uma TUI difere do que com uma GUI. Sendo assim, infere-se que os padrões e orientações utilizadas atualmente para design de interação em interfaces gráficas podem não ser adequados para o de aplicações para TUIs em mesas tangíveis.

Com base nessa hipótese, e no contexto apresentado anteriormente, o problema de pesquisa dessa tese se concentra na área de design de interação para mesas tangíveis e pode ser apresentado através da seguinte pergunta:

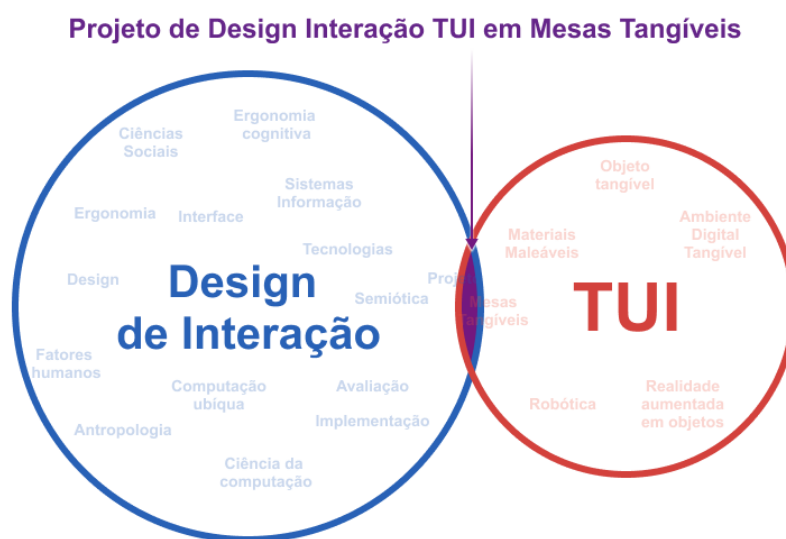


Figura 4 – Intersecção da área de conhecimento de Design de Interação com o tipo de interação TUI no dispositivo mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

Como se caracteriza o processo de design de interação de aplicativos para mesas tangíveis?

Desdobrando o problema principal de pesquisa pode-se elencar algumas Questões de Pesquisa (QP) específicas:

- **QP1** - Quais são as características de uma interação em uma mesa tangível e o que a difere de outras formas de interação?
- **QP2** Como os métodos projetuais de design de interação consideram as especificidades da interação tangível em dispositivos tais como a mesa tangível?
- **QP3** Como projetar uma interface tangível do usuário utilizando como dispositivo de entrada/saída uma mesa tangível?

Sendo assim, o objetivo geral dessa Tese é:

Propor um *framework* (DIMETA) com princípios para o Design de Interação de aplicações para MESas TAngíveis.

Para alcançar o objetivo principal em questão elencaram-se os seguintes Objetivos Específicos (OE):

- **OE1** - Caracterizar, identificar, especificar como ocorre o processo de interação em uma mesa tangível (relacionado a QP1);
- **OE2** - Analisar as diferenças/semelhanças entre as abordagens projetuais existentes para GUI e TUI (mesa tangível) (relacionado a QP1, QP2 e QP3);

- **OE3** - Coletar as práticas projetuais desenvolvidas por designers de interação no uso do dispositivo de mesa interativa (relacionado a QP2 e QP3);
- **OE4** - Experimentar os processos de design de interação relacionados ao dispositivo mesa tangível que utiliza tecnologia de reconhecimento de objetos por visão computacional (relacionado a QP3);
- **OE5** - Propor princípios projetuais para o design de interação de aplicações em mesas tangíveis (relacionado a QP1 e QP3).

1.4 Contribuições

Com base nos objetivos dessa Tese, e em conjunto aos projetos relacionados (mais detalhes item 1.6), a lista de contribuições dessa Tese, discutidas mais profundamente no item 7.3, consiste em:

- Produção de uma mesa tangível com tecnologia de visão computacional e *tokens* passivos para identificação e incorporação de objetos na interação;
- Desenvolvimento de uma série de aplicações para a mesa tangível no contexto de espaços educacionais culturais através de diversas ações de extensão junto a comunidade;
- Uma guia de princípios estruturados no *framework* DIMETA, visando facilitar o planejamento e criação de aplicações para mesas tangíveis por parte de designers de interação e desenvolvedores;
- Produção de material teórico de referência para pesquisas sobre mesas tangíveis, fundamentado na experimentação prática atrelada a teoria já consolidada.

1.5 Delimitação do cenário da pesquisa

Uma série de fatores delimitou o cenário de desenvolvimento dessa pesquisa. Além dos aspectos técnicos, práticos e teóricos, os quais serão explicitados na sequência, durante o desenvolvimento dessa Tese o mundo sofreu o impacto de uma pandemia de proporções globais. Enquanto os cientistas descobriam mais dados sobre a COVID 19, a população seguia as orientações da OMS (Organização Mundial da Saúde) para minimizar os efeitos da pandemia utilizando a mais básica e primitiva ferramenta existente para controle da disseminação de qualquer vírus — o distanciamento social.

Partindo dessa premissa, durante 2 anos, a partir de março de 2020, todo o entendimento dessa pesquisa sobre interação tangível e suas características de privilegiar o

"tocar" em colaboração foram impactados. Com base no dispositivo base dessa Tese, colocar usuários ao redor da mesa tangível tornou-se proibitivo. Apenas em março de 2022 os primeiros experimentos envolvendo usuários foram executados, seguindo todos os protocolos sanitários recomendados. Uso de luvas, máscaras, protocolo de vacinação, passaram a ser itens verificados na execução dos grupos focais ou entrevistas presenciais.

Quando se percebe que cada vez mais interfaces compartilhadas estarão no cotidiano das pessoas, isso traz a reflexão do quanto fatores sanitários foram suprimidos, ou até mesmo nunca considerados, para a criação de dispositivos e o modo como interagimos com eles. O cenário de exceção gerado pela pandemia cria a necessidade de entendimento e adaptação desses aspectos ao se projetar uma interface.

Apesar de a produção científica estar ainda trabalhando e produzindo material sobre essa reflexão, os resultados dessa Tese já seguem o impacto imediato gerado por esse cenário no transcorrer da pesquisa.

Com relação aos aspectos técnicos de infraestrutura, os experimentos desenvolvidos utilizam uma mesa tangível construída conforme especificação dada em Preuss et al. (2019). Ela utiliza técnica de reconhecimento de objetos por CV com o *reactIVision* (KALTENBRUNNER; BENCINA, 2007) e *toolkit* de implementação TUIO (KALTENBRUNNER et al., 2005) (mais detalhes no item 5.1). Técnicas que envolvem o reconhecimento de objetos por CV geram uma determinada latência entre o colocar o objeto e o reconhecimento do mesmo, a qual é perceptível. Mesmo sem gerar grande impacto ao processo interação com a mesa é algo a ser considerado.

Esse cenário confere condições idênticas à maioria das mesas tangíveis encontradas na RSL de estado da arte sobre esse dispositivo desenvolvida para essa Tese, porém traz uma delimitação de cenário ao projeto de aplicações para essa interação na medida que os *tokens* são passivos (ver mais detalhes no item 4).

Conforme especificado na Figura 5, a quantidade de pessoas interagindo simultaneamente, é limitada pelas dimensões da mesa e seu espaço ao redor (layout de circulação). Isso fez com que cada experimento, grupo focal ou atividade envolvendo a mesa tangível ficasse preferivelmente restrito a grupos de até 6 participantes.

Apesar de ser utilizado um tipo específico de mesa nos experimentos, o que poderia determinar uma limitação acerca da aplicabilidade do produto dessa Tese, considera-se que existem mais co-relações do que diferenças entre os diversos modelos. Nesse sentido, a contribuição dessa pesquisa vem justamente para dar pistas e orientações gerais para projetos de novas aplicações para qualquer tipo de mesa tangível. Com base nisso, estipularam-se algumas premissas para construção do *framework* projetual DIMETA para mesas tangíveis:

- Ser relacionável a qualquer outro *framework* teórico sobre TUI, ou seja, permitir utilização desses num sentido mais amplo sem comprometimento dos mesmos;

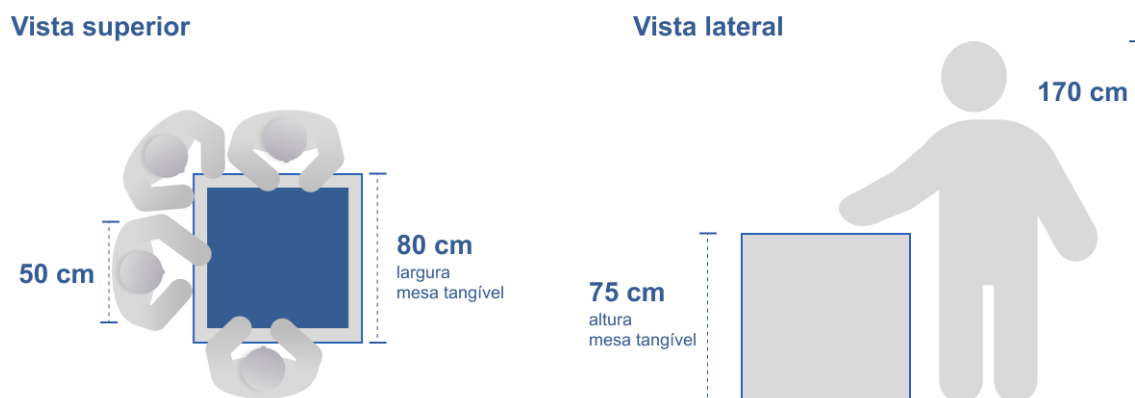


Figura 5 – Dimensões gerais da mesa tangível em relação a uma escala média com medidas de usuários. Fonte: Autor (2022)

- Ser independente de qualquer *toolkit* de rastreamento de objetos, sendo aplicável a qualquer cenário que utilize a visão computacional com o uso de fiduciais (*tokens* passivos);
- Ser configurável para que a estrutura das etapas e dos princípios do *framework* possam ser aplicados na totalidade ou conforme uma necessidade específica na criação de um projeto.

1.6 Projetos relacionados

Dentro do Laboratório Multiprofissional de Estratégias Criativas para Inovação Social (UFPel), diversos trabalhos estão relacionados ao objeto de pesquisa investigado nessa Tese. O primeiro experimento do grupo com interação tangível envolveu o desenvolvimento de um jogo chamado "Doce Labirinto", o qual consistia num labirinto físico que desafiava o jogador a movimentar uma esfera por movimentos de cabeça.

Através de uma interface gestual (movimentos da cabeça) a saída de dados era projetada num ambiente físico (labirinto) com um objeto tangível (Sphero⁴), configurando desse modo a interação tangível com objetivo de jogabilidade. A infraestrutura compreendia um dispositivo IOM⁵ (MACHADO et al., 2019) como entrada para captura dos movimentos de cabeça, e a esfera robótica Sphero como saída de dados que era movimentada no labirinto físico⁶.

Através do jogo Doce Labirinto, surgiram os primeiros questionamentos geradores dessa tese, apresentados também no artigo **Doce labirinto: Experiência de jogo utilizando interação baseada em movimentos da cabeça e recursos tangíveis**

⁴<https://sphero.com/>

⁵Interface Óculos Mouse

⁶Vídeo demonstrativo do jogo Doce Labirinto - <https://www.youtube.com/watch?v=bvIXQbRKQrE>

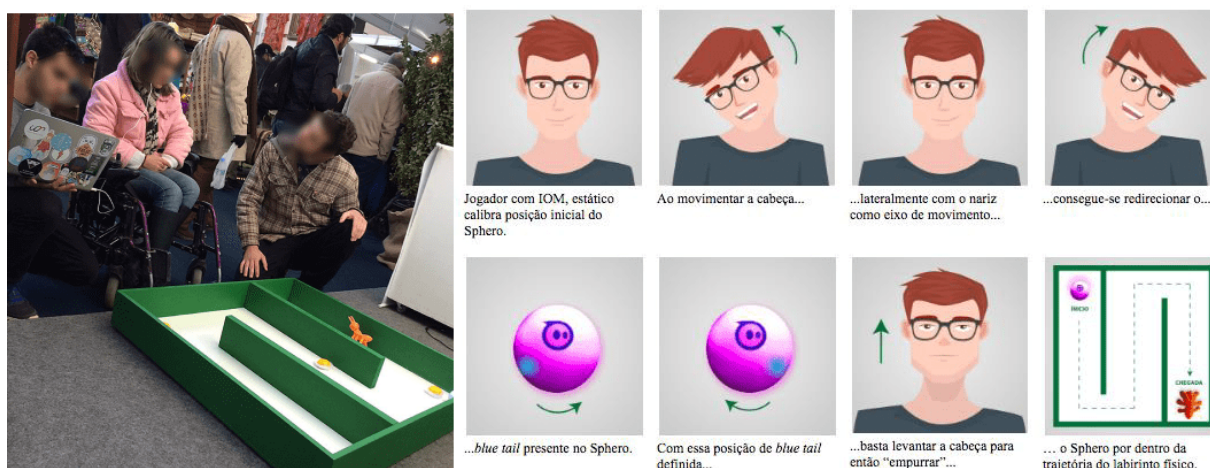


Figura 6 – Pessoa com deficiência motora jogando Doce Labirinto (à esquerda) com o *story-board* de mapeamento de ações gestuais para interação (à direita) Fonte: Autor (2017)

(CARDOSO et al., 2016).

Outro projeto produzido foi a implementação da interface tangível AR Sandbox, a qual foi construída no Laboratório Hidrossedimentologia e Solos no Campus Porto da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI). Essa aplicação consiste em uma TUI de cunho didático e educativo que oferece ao usuário uma forma dinâmica de representar o mapa topográfico (KREYLOS et al., 2016). Sua infraestrutura consiste em uma caixa de areia na qual é projetado um mapa topográfico, enquanto a superfície de areia é modificada pelo usuário, o mapa é recalculado, ou seja, é como se o usuário estivesse moldando o mapa topográfico (Figura 7). O usuário pode mexer na caixa de areia a fim de formar montanhas, planícies, depressões e afins, além de posicionar sua mão como se fosse uma nuvem sobre a caixa de areia, simulando a chuva e observando o escoamento da água pela superfície do mapa.

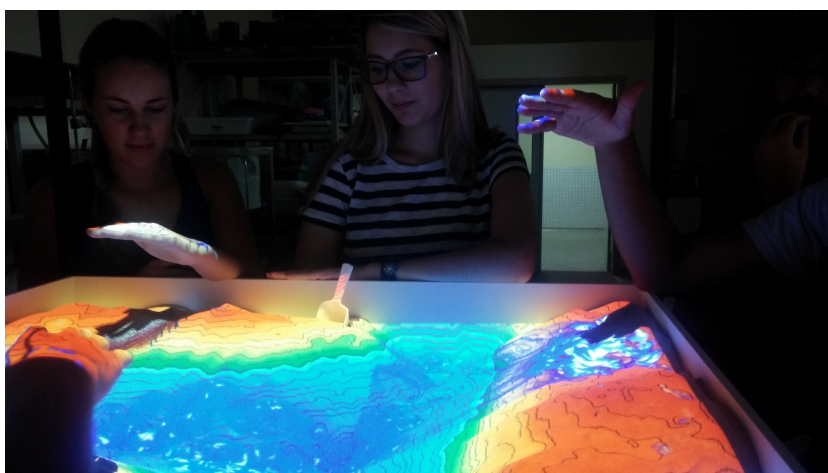


Figura 7 – Aplicação AR Sandbox na UFPeI. Fonte: Darley (2021)

A partir dos experimentos efetuados com esse dispositivo foi produzida a dissertação de mestrado **Perspectivas de uso de métodos de avaliação por usabilidade**

e UX no domínio da AR Sandbox de Darley (2021) além do artigo **Tangible interfaces: an analysis of user experience using the AR sandbox project** (DARLEY et al., 2017).

Outra abordagem de pesquisa em TUI no Grupo de Pesquisa gerou a dissertação **Avaliação da perspectiva do usuário em interfaces tangíveis: um estudo comparativo em sistemas baseados em hardware específico e sistemas mediados por software** de Agostini (2020), a qual teve como principal objetivo avaliar, na perspectiva do usuário, interfaces tangíveis com diferentes métodos construtivos.

Com relação à mesa tangível especificamente, os esforços das pesquisas foram desenvolvidos em conjunto com o Grupo de Estudos de Ensino/Aprendizagem de Gráfica Digital (GEGRADI)⁷ da Faculdade de Arquitetura da UFPel, em parceria com o Grupo de Investigación en Interfaces Avanzadas (GIGA Affective Lab)⁸ da Universidade de Saragoça na Espanha.

A partir desses esforços de pesquisa foi construída uma mesa tangível, segundo especificações dadas em Preuss et al. (2020) (Figura 8). Atualmente essa mesa tangível está inserida em um dos ambientes do Museu do Doce da UFPel. Esse museu tem como objetivo a missão de salvaguardar os suportes de memória da tradição doceira de Pelotas e da região e, como compromisso, produzir conhecimento sobre esse patrimônio. Para além desse objetivo cabe ressaltar que é um espaço universitário com estímulo a pesquisa e extensão, servindo como um laboratório aberto para contato e acesso de toda a comunidade (DOCE, 2022).



Figura 8 – Processo de construção de mesa tangível. Fonte: Autor (2020)

Um dos resultados já alcançados com a disponibilização da mesa tangível nesse espaço foi o desenvolvimento de uma série de aplicações que envolvem os eixos de educação patrimonial, arquitetura em habitações de baixo custo e acessibilidade ao acervo do museu. O artigo **Mesa tangível interativa: implementação e experimen-**

⁷<https://wp.ufpel.edu.br/gegradi/>

⁸<http://giga.cps.unizar.es/affectivelab/>

tações em espaços culturais (COSTA; SILVA; TAVARES, 2022) apresenta todo o processo de construção e de avaliação de uma dessas aplicações (Figura 49), a qual serviu também como parte de um dos experimentos dessa Tese (ver mais detalhes no item 5.3 e no anexo D)



Figura 9 – Mesa tangível em uso no Museu do Doce da UFPel Fonte: Autor (2022)

1.7 Organização da Tese

A estrutura de organização dessa Tese é dividida em seis capítulos, como descrito a seguir:

- **Capítulo 1 - Introdução**- apresenta o contexto do problema de pesquisa, motivação e justificativa para desenvolvimento da Tese, os objetivos, contribuições e delimitações de cenário;
- **Capítulo 2 - Estratégia de pesquisa** - apresenta as ferramentas, instrumentos e abordagens metodológicas para a desenvolvimento e consolidações dos resultados da Tese;
- **Capítulo 3 - Arcabouço Teórico** - fundamenta o arcabouço teórico geral do trabalho, com os eixos temáticos principais que norteiam o desenvolvimento da pesquisa;
- **Capítulo 4 - Mesas tangíveis** - traz definições e características das mesas tangíveis, o estado da arte desse dispositivo, além de apresentar cenário de mercado, entrevistas com especialistas na área, tecnologias de implementação e demais *frameworks* ou *toolkits* relacionados;
- **Capítulo 5 - Ciclos iterativos de experimentos** - apresenta a construção dos experimentos realizados, discute os resultados desses, contextualizando-os na

busca das características e parâmetros para definição dos princípios para a construção do *framework* projetual;

- **Capítulo 6 - Framework DIMETA** - descreve o *framework* DIMETA, com os princípios para o design de interação de aplicações para mesas tangíveis, com uma validação do mesmo através de um grupo focal envolvendo desenvolvedores e designers;
- **Capítulo 7 - Conclusões** - apresenta as conclusões da Tese, com uma discussão sobre seus resultados, como foram resolvidas as questões de pesquisa, listando as contribuições e desdobramentos futuros da pesquisa.

2 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os métodos, instrumentos e abordagens de desenvolvimento dessa tese. Utilizou-se no centro estratégico da metodologia dessa Tese a Pesquisa através do Design (*Research thought Design* - RtD), a qual é detalhado na seção a seguir (Item 2.1). Além disso o capítulo apresenta as etapas da pesquisa, com os entregáveis e produtos gerados (Item 2.2), além das considerações éticas envolvidas (Item 2.3) nesse trabalho.

2.1 *Research Trought Design (RtD)*

A metodologia de pesquisa através do design tem sido aplicada de forma recorrente dentro da área de IHC, em grande parte pelo fato de possibilitar uma abordagem que integra os conceitos teóricos produzidos com forte apoio na prática (ZIMMERMAN; FORLIZZI; EVENSON, 2007).

Quando se pensa na palavra "Design", existe uma construção de diversos significados dentro de diferentes áreas de pesquisa. Sua prática reflete os conceitos subjacentes em cada uma dessas intersecções e, especificamente na área de IHC, o conceito herdou teorias e metodologias provenientes principalmente de Sistemas de Informação, Engenharia de Software, Ciências Comportamentais e Sociais e, mais recentemente, estudos de Design.

A palavra "design" tem origem no latim "designo", significando marcar, desenhar, planejar e também apontar, indicar, significar, retratar, delinear. No contexto das artes aplicadas, da engenharia e da arquitetura, a palavra "design" é ao mesmo tempo nome (substantivo) e verbo. Como verbo, "design" remete ao processo de criação de um objeto estético e funcional, que usualmente requer considerável pesquisa, planejamento, modelagem, ajustes iterativos e re-design. O nome, na prática, é usado para significar tanto o plano final de ação (um desenho, modelo ou outra descrição) quanto o resultado de seguir aquele plano de ação (o objeto produzido). (BARANAUSKAS; HAYASHI, 2021)

De forma ambígua, a palavra design é tanto processo como produto. Essa processo de um intervalo de produção (design), de ciclos iterativos, faz com que os pesquisadores, através do RtD, delimitem melhor o problema e seu contexto. Com isso surgem novos conhecimentos para entendimento de um estado atual e, na sequência, surgir um estado futuro aprimorado na forma de um produto (design).

A partir das diversas características dadas por vários autores (PLOMP; NIEVEEN, 2010) pode-se dividir o processo de RtD nas seguintes grandes etapas, ilustradas na Figura 10:

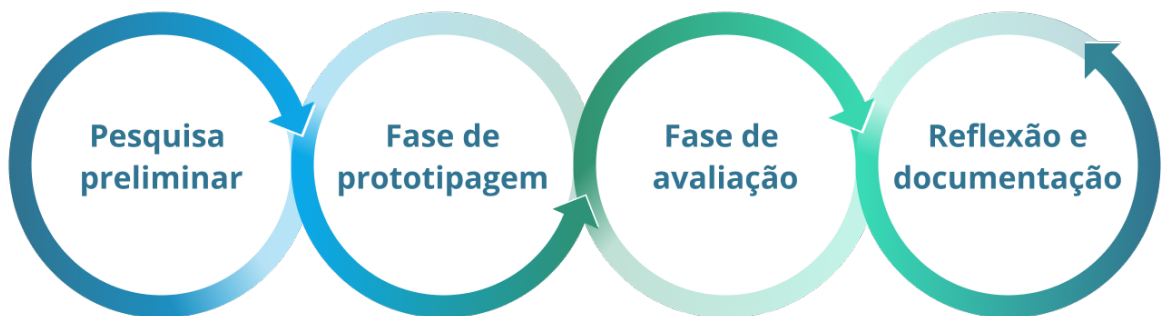


Figura 10 – Etapas gerais da metodologia *Research Thought Design*. Fonte: Autor (2022) adaptado de Plomp; Nieveen (2010)

- **Pesquisa preliminar:** Identificar e analisar problemas com pesquisadores e profissionais em colaboração;
- **Fase de prototipagem:** Desenvolvimento de soluções em protótipo, fundamentado pela teoria do estado da arte, princípios de design;
- **Fase de avaliação:** Ciclos iterativos de teste e refinamento de soluções na prática;
- **Reflexão e documentação:** Reflexão para produzir "princípios de design" e aprimorar a implementação da solução na prática.

Brenda (2003) descreve a importância dos designers de interação realizarem pesquisas enquanto praticam o design para fundamentar melhor seu processo, aumentando as chances do produto evoluir e ter sucesso. Desse modo, cada etapa do ciclo do RtD gera resultados com *inputs* tanto para definir padrões técnicos para as próximas etapas, como também geram *feedbacks* que retroalimentam as fases anteriores, gerando um esforço contínuo de aperfeiçoamento da solução através da teoria relacionada a prática.

Também é importante entender que, dado o foco do RtD ao processo, a reprodutibilidade dos resultados da pesquisa não define por si só sua validade ou não (ZIMMERMAN; FORLIZZI; EVENSON, 2007). O que se garante são as condições para reprodução de todo o processo, visando obter resultados similares dadas as características delimitadas pelo cenário da pesquisa num dado momento (PLOMP; NIEVEEN, 2010). Nesse ponto Zimmerman; Forlizzi; Evenson (2007) apontam que os artefatos gerados durante o processo da prática do design diferem dos gerados pela pesquisa através do design.

A intenção de fazer uma pesquisa é produzir conhecimento para a comunidade científica e aos profissionais envolvidos na prática, não exclusivamente gerar um produto comercialmente viável. Para tanto, é esperado que projetos de pesquisa que utilizem RtD não enquadrem o problema exclusivamente numa perspectiva econômica e sim em criar novas integrações de teoria, tecnologias, necessidades dos usuários e contextos.

Para garantir a integridade desse processo utilizando a metodologia RtD, a documentação e a consistência do desenvolvimento da pesquisa garantem a validação dos resultados. Zimmerman; Forlizzi; Evenson (2007) pontuam alguns fatores que devem ser considerados fundamentais para garantir essa validade:

- **Processo:** ao documentar suas contribuições, os pesquisadores devem fornecer detalhes suficientes para que o processo utilizado possa ser reproduzido;
- **Invenção:** a contribuição da pesquisa deve constituir uma invenção significativa;
- **Relevância:** o trabalho realizado deve ser enquadrado no mundo real e articular o estado preferido que a pesquisa tenta alcançar;
- **Extensibilidade:** é definida pela capacidade de construir sobre os resultados dessa pesquisa através do design.

Esses critérios de validação norteiam o desenvolvimento dessa Tese, visando garantir que seus resultados sejam escaláveis e incorporáveis por outros *frameworks* conceituais já desenvolvidos para TUIs em mesas tangíveis. O resultado desse trabalho visa auxiliar designers de interação no processo de criação e planejamento de aplicações para mesa tangível, sendo um produto gerado pelo "design" para o desenvolvimento de novos "produtos de design".

2.2 Etapas da pesquisa e entregáveis

Com base nos objetivos elencados anteriormente, a utilização da metodologia de RtD auxiliou o entendimento para a produção de uma série de entregáveis em cada

uma de suas etapas, as quais foram sendo desenvolvidas conforme a consolidação do *gap* de pesquisa explorado nessa tese.

De forma geral pode-se classificar as etapas e entregáveis em cada uma desse modo:

1 - Pesquisa preliminar

Instrumentos: Fundamentação teórica e busca de orientações projetuais através de uma RSL (PETERSEN et al., 2008) sobre mesas tangíveis. Através de uma *desk research* compreende-se a realidade de mercado sobre os dispositivos, as práticas, além de entrevistas com profissionais/especialistas em design de interação (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

Resultados: Definição do estado da arte sobre mesas tangíveis, tecnologias de implementação e modelos práticos e teóricos já existentes, bem como uma visão de mercado e de especialistas para esse tipo de dispositivo. Levantamento de diretrizes projetuais já existentes que podem auxiliar a construção da solução aqui proposta.

2 - Fase de prototipagem

Instrumentos: Construção da mesa tangível, segundo definições geradas pela definição do estado da arte, testes práticos com experimentos de uso da mesa tangível com diversos tipos de interação, observação de espaços com interação e grupos focais.

Resultados: Lições apreendidas no sentido prático de desenvolvimento e primeiros experimentos empíricos com a mesa tangível. Geram-se indícios e características de design de interação para aplicações de mesa tangíveis baseadas nas evidências observadas, além da validação da abordagem teórica da etapa anterior.

3 - Fase de avaliação

Instrumentos: Construção de aplicações para uso em mesas tangíveis e ciclos de experimentos através de questionários, observações e grupos focais. Com base nos indícios gerados até então, criam-se parâmetros e características de análise para o processo de interação com aplicações em mesas tangíveis.

Resultados: Lições apreendidas através dos ciclos de experimentos consolidam a construção dos princípios para o *framework* DIMETA.

4 - Reflexão e documentação

Resultados: Construção do produto da tese - *framework* DIMETA e sua validação com designers de interação e desenvolvedores;

A Figura 11 exemplifica um fluxo de entradas e saídas de informações/resultados em cada etapa e como o processo de documentação se apresenta em todas as fases da pesquisa, gerando teoria através da prática reflexiva.

No transcorrer de cada uma dessas etapas, as saídas de documentação geradas já criam sugestões ou indícios para diretrizes consolidadas no Capítulo 6 - Framework DIMETA. Essas foram também grifadas no transcorrer da construção da Tese, de modo que se identifica visualmente a origem de determinada evidência. Utilizando as mesmas cores do fluxo de etapas, utilizados na Figura 11, para pesquisa preliminar, prototipagem e avaliação, sinalizou-se desse modo:

- **LIT 00**: Indícios originados da literatura, seja do arcabouço teórico (Capítulos 3 e 4) ou do estado da arte, através da RSL (Item 4.3);
- **ESP 00**: Evidências originadas através da análise de conteúdo das entrevistas com os especialistas (Item 4.7);
- **EXP 00**: Indícios gerados através dos ciclos iterativos de experimentos e seus resultados (Capítulo 5);

As numerações após o prefixo (LIT, ESP e EXP) visam ordenar as evidências que por vezes se repetem, por exemplo, um indício grifado no arcabouço teórico **LIT 00** pode aparecer novamente em uma das entrevistas **ESP 00** com especialistas. Isso foi deliberado como estratégia que visa ilustrar as diferentes origens, até repetidas, das sugestões.

2.3 Considerações éticas

Todo o desenvolvimento dessa Tese compreendeu uma série de experimentos que envolveram usuários manipulando objetos na mesa tangível. Diante do cenário imposto pela pandemia de COVID 19, entre 2020-22, exigiu-se que os experimentos fossem executados seguindo todos os protocolos sanitários para garantir a saúde dos participantes. Por isso, exigiu-se o uso de máscaras, comprovante vacinal com ciclo completo (todas as doses exigidas pela faixa etária) além de disponibilização de material para sanitização das mãos após o uso dos manipuladores tangíveis.

Todo o processo de planejamento e execução dos experimentos se deu segundo as normas especificadas na legislação nacional, seguindo os parâmetros éticos de condução e registro no Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas (CEP FAMED) sobre o nº CAAE: 60509522.7.0000.5317 (**Apêndice A - Parecer consubstanciado da Comissão de Ética e Pesquisa CEP FAMED**).

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (**Apêndice C - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Cessão de direito de uso de gravação e**

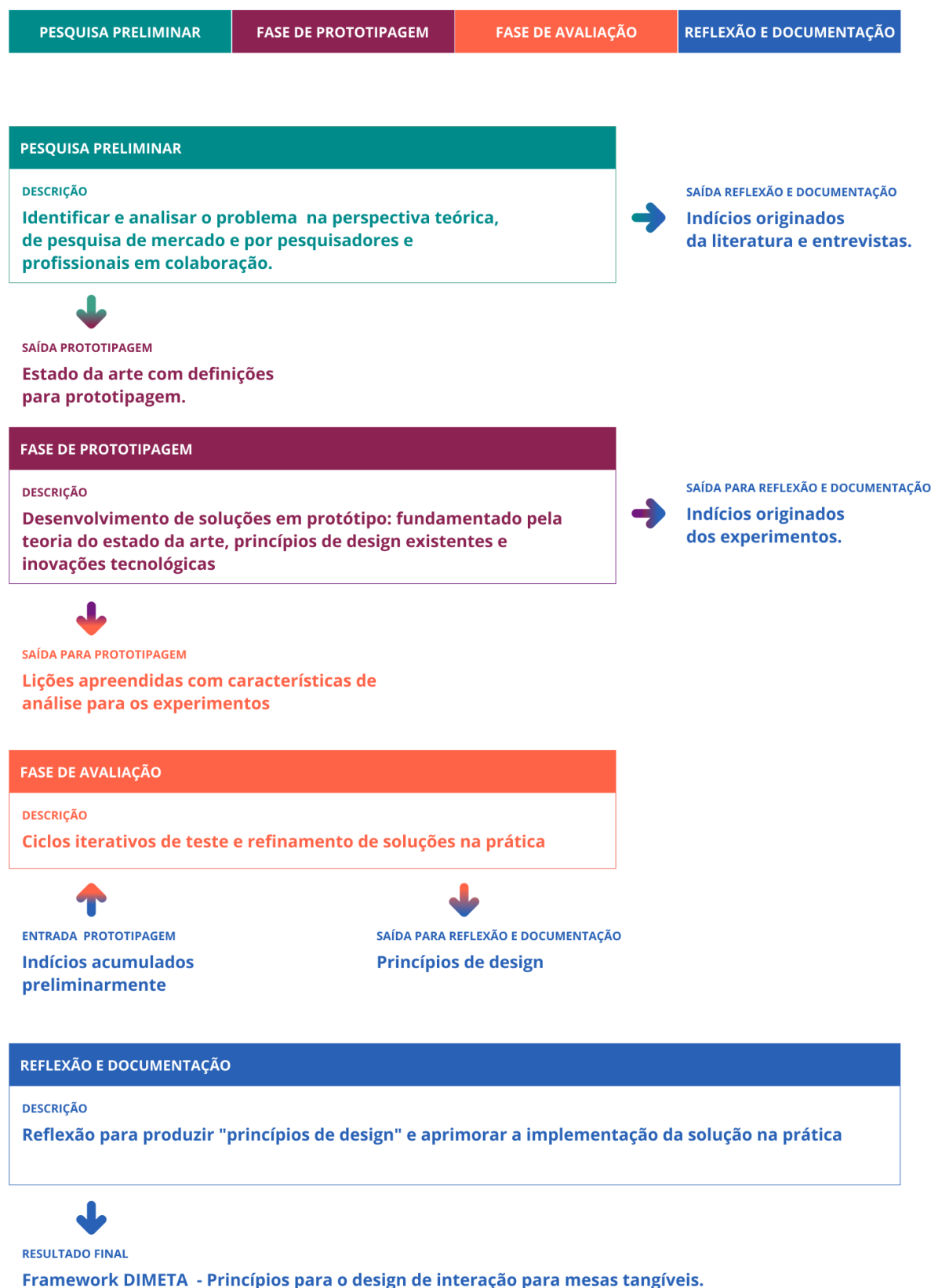


Figura 11 – Fluxo de etapas da metodologia com entradas e saídas de resultados. Fonte: Autor (2022)

registro de entrevista para fins educacionais/científicos) exigiu a ciência e concordância com os termos dos experimentos sobre todos os aspectos sanitários, além de solicitar cessão de direito e uso de imagem/voz para fins científicos, com garantias de privacidade e confidencialidade dos dados gerados.

Cada experimento, e o dado momento no qual foi executado, exigiu algumas adaptações específicas (como quantidade de usuários envolvidos, forma de captação do registro), porém sempre seguindo os protocolos gerais definidos.

Além disso, cabe ressaltar que esta Tese seguiu o código de ética da comunidade de IHC, representado através do Grupo de Interesse Especial em Interação Humano-Computador (SIGCHI) ¹ que pertence a *Association for Computing Machinery* (ACM) ² cujos princípios éticos gerais podem ser resumidos a seguir:

- Contribuir para a sociedade e para o bem-estar humano;
- Evitar consequências negativas, danos físicos ou mentais;
- Ser honesto e confiável;
- Ser justo e tomar medidas para não discriminar;
- Respeitar o trabalho necessário para produzir novas ideias, invenções, trabalhos criativos e artefatos de computação;
- Respeitar a privacidade;
- Honrar a confidencialidade;

Destacam-se também as políticas da ACM para combater discriminação de raça, etnia, religião, cidadania, nacionalidade, idade, identidade sexual ou de gênero, deficiência ou qualquer outra característica, além de ações institucionalizadas contra o assédio de qualquer ordem. Mais detalhes estão presentes nas páginas de Código de Conduta da SIGCHI (<https://sigchi.org/about/code-of-conduct/>) e de Código de Ética da ACM (<https://www.acm.org/code-of-ethics>).

¹<https://sigchi.org/>

²<https://www.acm.org/>

3 ARCABOUÇO TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os pilares teóricos para a fundamentação dessa Tese. O centro teórico para gerar o *framework* DIMETA é a área de design de interação, com seus fundamentos, metodologias, abordagens (Item 3.1); em intersecção com os conceitos de interação tangível, suas características, tipos de gênero e taxonomias em diversos *frameworks* (Item 3.2). Por fim tem-se uma discussão geral acerca da fundamentação teórica (Item 3.3), a qual já direciona para o capítulo posterior (4 - Mesas tangíveis).

3.1 Design de interação

O objetivo dessa seção é apresentar a área de design de interação através da sua conceituação e princípios básicos (Item 3.1.1), como ocorreu a evolução e cenário atual das IU (Item 3.1.4), suas práticas projetuais e processos de avaliação (Itens 3.1.2 e 3.1.3), finalizando com as principais considerações (Item 3.1.5).

3.1.1 Conceituação e princípios básicos do design de interação

“O que é design? É onde você fica com um pé em dois mundos - o mundo da tecnologia e o mundo das pessoas e objetivos humanos - e você tenta juntar os dois.” Mitch Kapor em Winograd (1996)

Como já discutido anteriormente, o termo *“design”* possibilita várias interpretações conforme a área a que está relacionada. Pode significar tanto o processo de desenvolvimento, no sentido de ser um *“projeto”*, como também de um produto final resultante. Nesse sentido, o design de interação surge como termo que dá cobertura a vários outros conceitos, todos relacionados a diversas outras áreas do conhecimento. Enquanto nos primórdios da computação os fabricantes recrutaram rapidamente designers industriais com objetivo de dar forma ao produto computador pessoal, eles foram menos ágeis ao reconhecer a necessidade de investimentos no design de interação (SHNEIDERMAN et al., 2016).

Segundo Preece; Rogers; Sharp (2013) o design de interação consiste em projetar produtos interativos para apoiar o modo como as pessoas se comunicam e interagem em seus cotidianos, seja em casa ou no trabalho. Para a IxDA ¹, o design de interação define a estrutura e o comportamento dos sistemas interativos. Os designers de interação se esforçam para criar relacionamentos significativos entre as pessoas e os produtos e serviços que eles usam, originados de computadores, dispositivos móveis, além de outros dispositivos computacionais (IXDA, 2022).

Toda vez que os designers criam um novo artefato digital, eles tomam decisões inconscientes ou não de como esse sistema irá "parecer, sentir e funcionar". Se eles considerarem como os produtos e serviços digitais são criados, eles os tornarão atraentes, respondendo às necessidades humanas com UI fáceis de aprender, compreensíveis e eficientes de usar (SHNEIDERMAN et al., 2016).

As qualidades desejáveis num artefato digital são a principal preocupação do design de interação, a qual se materializa sob um amplo guarda-chuva para a melhor experiência do usuário possível, envolvendo sempre diversas disciplinas que devem operar em harmonia (SAFFER, 2010).

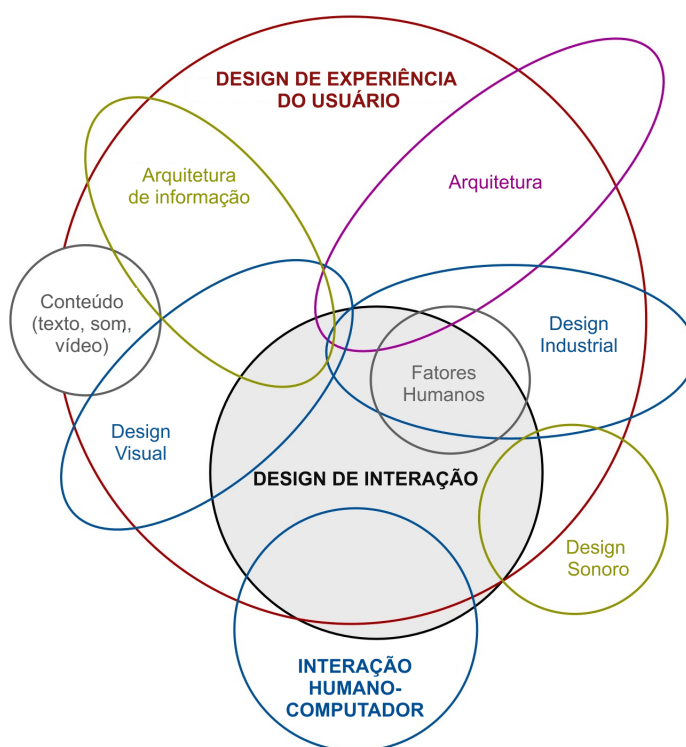


Figura 12 – Disciplinas ao redor do Design de Interação Fonte: Autor (2022) adaptado de Saffer (2010)

Saffer (2010) apresenta várias dessas disciplinas como partes que estão fora do domínio da experiência do usuário. Isso ocorre porque muitas dessas disciplinas têm tarefas relacionadas à produção, desenvolvimento e construção de seus próprios pro-

¹The Interaction Design Association (IxDA) <https://www.ixda.org/>

jetos, e, dessa forma, essas tarefas podem ter pouco a ver com o que o usuário experimenta.

3.1.1.1 Usabilidade e experiência do usuário

Todo e qualquer artefato digital produzido tem por objetivo executar um determinado processo que lhe foi atribuído do ponto de vista do projetista/desenvolvedor, e, por outro lado, gerar uma resposta e um comportamento emocional no usuário que interage com o mesmo. Nesse sentido, os termos "usabilidade" e "experiência do usuário" surgem como metas desejáveis ao se projetar o design de interação com um sistema computacional.

Segundo Nielsen (1994), usabilidade é um conjunto de fatores que possibilitam que um usuário possa interagir bem com um sistema computacional. Esses fatores estão diretamente ligados ao modo como o usuário emprega sua capacidade cognitiva no processo de interação, tendo facilidade de aprender e memorizar as ações, segurança, eficiência e satisfação de uso dessa interface.

A ISO 9241-11 define a usabilidade como um grau em que um determinado produto é utilizado por usuários específicos, para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico (ISO9241-11, 2018).



Figura 13 – Metas de Usabilidade (ao centro) e de Experiência de Usuário (ao redor). Fonte: Autor (2022) adaptado de Preece; Rogers; Sharp (2013)

Já a experiência de usuário (*User Experience* - UX) considera que uma aplicação não só necessita que seu comportamento concorde com o esperado, como também necessita que o usuário se sinta satisfeito com a aplicação. Enquanto a usabilidade

tem como foco maior eficiência e eficácia de uso (Figura 13) da aplicação, numa visão muito limitada do que as pessoas fazem e obtêm com a tecnologia, a UX reconhece ideias, estímulos prazerosos e trocas sociais como os verdadeiros motivos para o uso da tecnologia e que sentimentos e sensações são seus verdadeiros resultados (HASSENZAHL, 2008).

Preece; Rogers; Sharp (2013) definem que a usabilidade é a base, ou o centro, que possibilita que se alcance uma boa experiência de uso. Conforme os autores, pode-se afirmar que enquanto as qualidades de usabilidade são mais ligadas aos dispositivos (que possibilitam a interação) a UX é mais ligada aos usuários finais, seus objetivos e contextos de uso.

3.1.1.2 **Interação, interface, feedback e affordance**

“O design de interação não é necessariamente a criação de sites ou aplicativos. Não é necessariamente o design de uma interface gráfica do usuário (...) o design de interação é a criação de um diálogo entre uma pessoa e um produto, sistema ou serviço. Este diálogo é físico e de natureza emocional e se manifesta na interação entre forma, função e tecnologia experienciadas ao longo de um dado tempo.” Kolko (2010)

Quando Kolko (2010) fala desse "diálogo" entre usuários e sistemas, o autor estabelece que essa conversa é o próprio processo de interação. Numa definição mais teórica, interação é um processo através do qual o usuário formula uma intenção, planeja suas ações, atua sobre uma interface, percebe e interpreta a resposta do sistema e avalia se seu objetivo foi ou não alcançado (BARBOSA; SILVA, 2010).

Os sistemas computacionais interpretam de várias formas o modo como é estabelecida essa "conversa" e o local através do qual os usuários colocam suas mãos, dedos, vozes, movimentos ou gestos, para interagir é chamado de interface. Ela é a ponte de comunicação na qual o usuário "entra" com determinados comandos na busca de uma "resposta" do dispositivo.

Pensar no projeto de uma interface envolve planejar maneiras de facilitar a interpretação do usuário daquilo que ele percebe através do contato com os dispositivos de I/O de dados durante o uso do sistema. Essa interpretação é que garante ao usuário compreender as respostas e planejar os próximos passos de interação (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

Essa "resposta" do dispositivo as interações dadas pelos usuários se configuram, por vezes, como *feedbacks* e se apresentam de várias maneiras: podendo ser visuais, sonoras e hápticas. Já *affordance* é um conjunto de características perceptíveis que o dispositivo e seu sistema apontam como "dicas" para o usuário de como ele pode manipular os elementos de sua interface. Quando aplicam-se esses conceitos em

uma interface tangível, tanto *feedback* como *affordance* podem ser relacionados ao objeto manipulado em si (se é fácil de pegar, se altera suas propriedades de cor, luz, etc), como também sobre o espaço no qual a interação é executada.

Tanto *feedback* e *affordance* são importantes durante o design de interação, pois auxiliam os usuários a entender se estão no controle, se uma ação foi executada corretamente, se ocorreu algum erro, se podem pegar ou tocar essa, ou aquela parte da interface, ou de qualquer elemento de I/O (BARBOSA; SILVA, 2010). Isso ganha mais relevância quando se pensa em pessoas com algum tipo de deficiência, *feedback* e *affordance* podem definir se o usuário consegue ter acesso ou não a determinado tipo de informação no uso do sistema computacional.

3.1.1.3 **Acessibilidade**

Durante o processo de interação, o usuário emprega suas habilidades sensoriais para agir sobre a interface. Visão, audição, fala, movimentos de mãos e braços, percepção espacial, são sentidos que também possibilitam que os usuários tenham capacidade de inserir dados e ter *feedback* sobre eles. Acessibilidade atribui igual importância entre pessoas COM ou SEM uma determinada limitação sobre esses sentidos, possibilitando com que interajam de acordo com suas capacidades preservadas (BARBOSA; SILVA, 2010).

Melo; Baranauskas (2005) definem acessibilidade como "*sendo a flexibilidade proporcionada para o acesso à informação e à interação, de maneira que usuários com diferentes necessidades possam acessar e usar esses sistemas*". Um usuário pode ter restrições de capacidade física (deficiência visual, auditiva e motora) e cognitivas de forma permanente ou de forma temporária. Essas limitações podem surgir com o próprio envelhecimento e criam barreiras no uso das interfaces que privilegiam uma determinada capacidade em detrimento a outra. Interfaces gráficas, por exemplo, necessitam de adaptações para prover acessibilidade a pessoas com deficiência visual, as quais diferem de uma pessoa com deficiência auditiva.

Com relação as TUI, existem pesquisas que apontam o uso da interação tangível, e especificamente com mesas tangíveis, como possibilidade de recurso para acessibilidade a pessoas com alguma deficiência. Alguns artigos mapeados através da RSL (ver mais detalhes em Apêndice A) apresentaram alternativas nessa direção. Du; Rit (2016) é um exemplo, seu artigo apresenta uma proposta de representação tangível para criação e interpretação de mapas por pessoas cegas por conta própria, via um *token* que gera instruções de áudio durante o processo de interação.

Os autores argumentam que interpretar e utilizar mapas são parte do cotidiano de usuários videntes, que utilizar as características da TUI e do espaço físico, disponibilizadas numa mesa, parece ser uma alternativa viável à inclusão de pessoas com deficiência visual, para além de outras restrições que possam ter.

3.1.1.4 **Princípios de design de interação e interface**

Ao buscar estabelecer uma boa conversa (usabilidade e UX) entre usuários e tecnologias (processo de interação), utiliza-se uma série de características e princípios básicos para estabelecer esse diálogo do melhor modo possível. Bagnara; Smith (2006) apresentam um modelo útil para entender o que envolve o design de interação, baseado em 5 dimensões de elementos básicos de todo processo:

- Palavras - muito usadas como apoio de linguagem verbal, em rótulos, botões, etc, devem comunicar informações relevantes, sem sobrecarregar o usuário;
- Representações visuais - especialmente usadas em interações através de símbolos, elementos visuais significativos que devem ser tão ou mais simples de entender do que palavras;
- Objetos físicos e espaço - forma, característica e modo de tocar ou manipular a interface, ou partes dela, além de considerar a *affordance* e as relações com o espaço no entorno, tanto do dispositivo como do usuário;
- Tempo - se refere principalmente em como todos os itens anteriores surgem ou não em uma linha do tempo. O movimento, sons, vibrações, desempenham um papel crucial ao fornecer *feedback* visual, sonoro e háptico às interações dos usuários.
- Comportamento - delimita a comportamento de cada um dos elementos anteriores, em como eles se relacionam e o que acontece com cada um deles quando existir uma determinada ação do usuário. Em outras palavras, é como as dimensões anteriores definem as interações de um produto.

O modo como se articulam esses elementos básicos nas 5 dimensões define como o sistema se comporta em cada uma das etapas do processo de interação. Nesse sentido, também desenvolveram-se uma série de princípios com objetivo de serem ferramentas de auxílio para desenvolvimento de interfaces. "As oito regras de ouro" de Shneiderman et al. (2016) são um exemplo desses princípios e devem ser constantemente discutidas, não como uma lista completa e linear, mas como um organismo em evolução:

- 1. Esforce-se pela consistência: determinadas ações devem ser exigidas em situações semelhantes. As características físicas de formas, layouts, cores, etc devem ser empregadas por toda a interface do mesmo modo, mantendo um padrão – mantendo uma consistência.

- 2. Busque usabilidade universal: reconhecer as necessidades de diversos usuários e projetar para a diversidade, facilitando a transformação do conteúdo. Usuários com deficiências e usuários experientes demandam necessidades e geram comportamentos diversos numa mesma interface.
- 3. Ofereça *feedback* informativo: para cada ação do usuário, deve haver um *feedback* do sistema – um retorno para o usuário, uma mensagem, um aviso, uma satisfação do que está acontecendo. O usuário tem sempre que saber o que está acontecendo com as ações que ele faz dentro da interface.
- 4. Projete diálogo que indique o fim de uma ação: sequências de ações devem ser organizadas em grupos com um começo, meio e fim. A informação de um *feedback* após concluir algumas ações dá aos usuários a satisfação de realização, uma sensação de alívio e uma indicação para se preparar para a próxima tarefa.
- 5. Evite Erros: Ao projetar um sistema, tente ao máximo possível fazer com que os usuários não possam cometer erros graves. Tente prever as situações e projete para evitar esses erros. Aliás, não só prever, mas teste com usuários reais e veja onde eles estão errando.
- 6. Permita a fácil reversão de ações: na medida do possível, as ações devem ser reversíveis. Esse recurso alivia a ansiedade, pois os usuários sabem que erros podem ser desfeitos e incentiva a exploração de opções desconhecidas.
- 7. Mantenha os usuários no controle: Usuários em geral desejam fortemente a sensação de que estão no comando da interface que responde às suas ações. Eles não querem surpresas ou mudanças no comportamento e ficam incomodados com sequências tediosas de entrada de dados, dificuldade em obter as informações necessárias e incapacidade de produzir o resultado desejado.
- 8. Reduza a carga de memória de curta duração: A limitação das pessoas em relação ao processamento de informações na memória de curta duração exige que os designers de interação evitem criar interfaces em que os usuários devem memorizar informações.

Esses princípios apresentados em Shneiderman et al. (2016) são também citados de maneira similar por vários outros autores. Princípios como esses são derivados da mistura entre o conhecimento baseado na teoria, experiência na prática e tendem a ser escritos de forma prescritiva com o objetivo de auxiliar designers de interação (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

3.1.1.5 Modelos mentais, padrões de design e frameworks

“O design de interação não é adivinhação” Cooper et al. (2014)

Um sistema bem-sucedido é aquele baseado em um modelo conceitual que permite que os usuários aprendam rapidamente a usá-lo de forma eficaz (Figura 14). As UI devem ser baseadas em modelos mentais dos usuários em vez de modelos de implementação (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

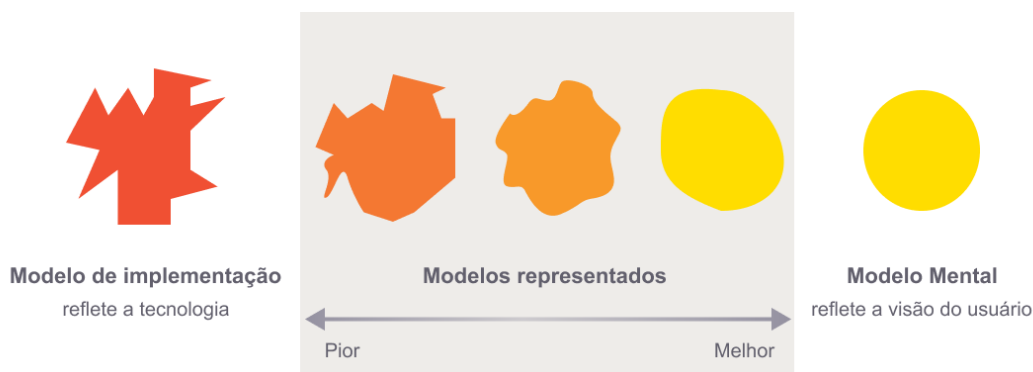


Figura 14 – Uma comparação do modelo de implementação, modelo mental do usuário e modelo representado (ao centro) na UI. Fonte: Autor (2022) adaptado de Cooper et al. (2014)

Os modelos mentais são utilizados pelos usuários para racionalizar uma interface, entendendo o que fazer e quando, como reagir diante de um comportamento inesperado e como lidar com um padrão novo desconhecido. Quanto mais alguém aprende sobre como funciona um sistema computacional, mais desenvolve o seu modelo mental.

Cooper et al. (2014) discorrem que constantemente as UI são desenvolvidas obedecendo regras de negócio ou restrições técnicas. O modelo de como o sistema realmente funciona é chamado de modelo de implementação. A maneira como os usuários percebem as ações que precisam fazer e como o aplicativo os ajuda a fazer, isso é seu modelo mental de interação. Já a forma como os designers escolhem representar o funcionamento da aplicação para o usuário é chamado de modelo representado (Figura 14).

Ao contrário dos outros dois, o modelo representado é sobre o qual os designers têm controle, é o lugar no qual ocorre o projeto (design de interação). Justamente, um dos objetivos importantes para o designer de interação deve ser tornar o modelo representado o mais próximo possível do modelo mental do usuário. Utilizar modelos mentais adequados é a garantia de atalhos eficientes na manipulação de informações através das I/O, pois oferece uma redução de carga cognitiva dos usuários além do próprio tempo de interpretação das respostas que a interface oferece. Esse transcorrer temporal entre a intenção do usuário e a avaliação do *feedback* dado pela interface para tomada de nova decisão é chamado golfo de execução.

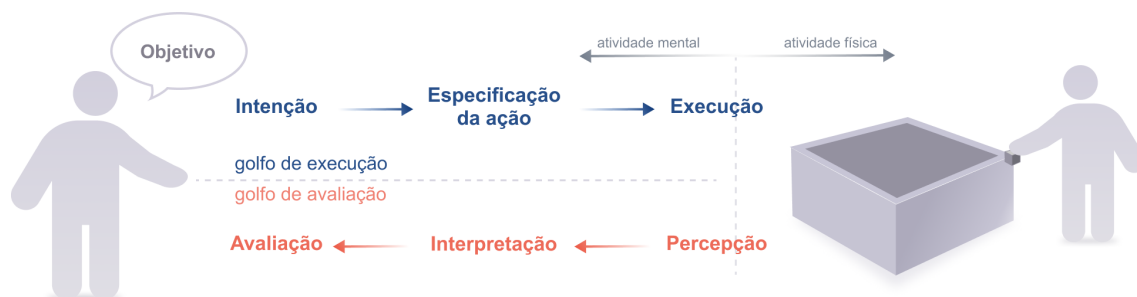


Figura 15 – Estágios de atividade do usuário na travessia dos golfos de execução e avaliação. Fonte: Autor (2022) adaptado de Norman (1991)

Essa abordagem cognitiva comportamental auxilia o design de interação na especificação de tarefas/ações a serem realizadas em um sistema e quais as variáveis possíveis. Conforme ilustrado na Figura 15, o usuário após determinar seu objetivo o transforma em intenção, através da qual determina uma ação sobre o sistema. Após receber essa ação, via uma determinada especificação, o sistema executa um comando, gerando o *feedback* perceptivo, o qual é interpretado e avaliado pelo usuário (golfo de avaliação), e que, de posse desse resultado, toma uma nova intenção, realimentando o ciclo (NORMAN, 1991).

A linha temporal dos estágios de atividades do usuário ganha eficiência na medida que o designer de interação faz bom uso de modelos mentais apropriados, abreviando o tempo total através dos golfos de execução e de avaliação. Além disso, com atividades bem especificadas, os mecanismos de interação geram uma percepção maior de controle e segurança aos usuários (BARBOSA; SILVA, 2010).

Com base na teoria consolidada e através da observação e busca pelo modelo mental dos usuários, a criação de padrões de design facilita tanto o desenvolvimento de aplicações e novas interfaces pelos designers de interação, como, por outro lado, otimiza todos os processos envolvidos na interação através da perspectiva do usuário.

Existem vantagens no uso desses padrões, pois capturam a sabedoria coletiva de vários designers experientes na comunidade de IHC, os quais já erraram e acertaram em várias situações muito similares, gerando um arcabouço de recomendações/descrições de melhores práticas num determinado domínio. Além disso, os padrões de design são reutilizáveis, escaláveis e configuráveis na medida da necessidade e do contexto do projeto que se está desenvolvendo, porém, não são soluções prontas ou regras definitivas para a construção de aplicações (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

Tidwell; Brewer; Valenc (2020) apresentam um exemplo de modelo de organização de seus padrões de design utilizando as seguintes informações:

- **título**, nome do padrão
- **o que**, resumindo a solução em um parágrafo curto;

- **usar quando**, indicando as situações em que o padrão se aplica e o seu comportamento;
- **por que**, fornecendo dados que justificam a adequação do padrão à situação descrita;
- **como**, detalhando a solução e as formas como ela pode ser implementada;
- **exemplos**, incluindo esquemas, *storyboards*, imagens de exemplos concretos que ilustrem o uso do padrão.

Conjuntos de padrões de design, recomendações ou diretrizes, formam estruturas mais complexas, como os *frameworks*. Como já explicitado anteriormente, *frameworks* são ferramentas úteis aos designers de interação, pois apresentam conjuntos de recomendações, padrões ou diretrizes baseadas em teorias do comportamento humano, com foco em experiência reais da prática do design e dos resultados de pesquisa com os usuários.

3.1.2 Processos e abordagens projetuais para design de interação

Na busca por aproximação do modelo mental dos usuários, *frameworks* fornecem um conjunto fundamental de conceitos, perguntas ou princípios a serem considerados no design para uma determinada UX (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013). Essa busca se dá através do processo de design desenvolvido, o qual é definido de modo similar por vários autores. Autores como Preece; Rogers; Sharp (2013) e Shneiderman et al. (2016) apresentam quatro principais etapas no processo de design de interação:

- 01. Levantamento de requisitos: É a tradução das necessidades dos usuários em funcionalidades ou configurações em um sistema computacional. Podem ser divididos em requisitos funcionais (definem o comportamento específico que o sistema deve suportar) e não funcionais (especificam critérios gerais que regem a operação do sistema interativo sem estar vinculado a uma ação ou comportamento específico). Existem diversas técnicas para identificação dos requisitos como entrevistas, observações, questionários, etc.
- 02. Geração de alternativas: Tradução dos requisitos anteriormente definidos em alternativas de design. Parte-se de um modelo conceitual mais abstrato que define como o produto deve parecer até o design físico que considera detalhes mais específicos de como interagir com o sistema e suas qualidades visuais/físicas.
- 03. Prototipagem: A melhor maneira de validar uma proposta de design de interação é o usuário interagir com ela, e isso pode ser mais rapidamente alcançado com uso de protótipos, os quais podem ser produzidos de forma rápida e de

baixa fidelidade com o produto final. Existem diversas formas de prototipagem (protótipos baseados em papel, encenação, etc) e todas têm o objetivo de serem formas mais rápidas e baratas para se testar uma alternativa de design.

- 04. Avaliação: É o processo pelo qual se determina o grau de usabilidade e a experiência de usuário gerada pelo produto do design de interação. Conforme os requisitos estabelecidos, os processos de avaliação mensuram o quanto o sistema computacional atende ao que foi previsto e atende as expectativas dos usuários.

Cabe ressaltar que todas as etapas citadas acima estão interligadas, de modo que o resultado de um processo de avaliação pode impactar numa nova orientação de requisitos, ou em uma nova alternativa de design que pode ser de forma mais fácil testada num determinado protótipo.

Se por um lado o processo de design de interação se configura geralmente de modo similar em todos os projetos, a abordagem de envolvimento e aproximação do usuário para executá-lo pode variar. Nesse sentido, existem algumas abordagens diferentes na condução do projeto, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Abordagens para o design de interação. Fonte: Autor (2022) baseado em Saffer (2010) e Shneiderman et al. (2016)

Abordagem	Visão Geral	Usuários	Designer de Interação
Design Centrado no Usuário	Foco nas necessidades e objetivos dos usuários	Os guias do projeto	Traduz as necessidades dos usuários em objetivos
Design Centrado na Atividade	Foco nas tarefas e atividades que necessitam ser feitas	Executores das atividades	Cria ferramentas para ações
Design de Sistemas	Foco nos componentes do sistema	Define os objetivos do sistema	Garante que todas as partes do sistema estejam no lugar
Design Genial	Habilidade e sabedoria dos designers para fazer produtos	Fonte de validação	Fonte de inspiração
Design Participativo	Envolve os usuários durante o processo de fazer o produto	Colaboradores na criação	Facilitadores do processo de produção do sistema

Os papéis executados por designers de interação em relação ao produto final podem variar entre abordagens que envolvem diretamente o usuário (Design Centrado no Usuário, Design Participativo); outras mais focadas nos sistemas e em funcionalidades/tarefas (Design Centrado na Atividade); até aquelas centradas exclusivamente no

expertise do designer que utiliza o usuário como mero validador de propostas (Design Genial).

Esse grau de distância do usuário em relação ao desenvolvimento do projeto impacta no tipo de ferramentas que são utilizadas dentro de cada uma das etapas do processo de design de interação. Abordagens que envolvem mais proximidade com o usuário tendem a utilizar instrumentos que os envolvam desde os levantamentos de requisitos, até geração de alternativas e validações em protótipos, por exemplo.

Com o passar do tempo, e diante dos processos de design e as abordagens possíveis com as quais podem ser desenvolvidas essas etapas, diversos autores começaram a criar *frameworks* projetuais que se configuram específicos em um determinado domínio do design. Pelo menos dois desses *frameworks* são exemplos significativos adotados pela comunidade de pesquisa em IHC e com forte utilização no mercado de design de UI.

O primeiro exemplo é o *framework* dos Elementos de Experiência do Usuário (GARRET, 2011) que consiste em cinco planos (etapas) que vão se sobrepondo, partindo de conceitos mais abstratos até o produto concreto do processo, sempre com orientação para busca da melhor experiência do usuário.

Os cinco planos são:

- Plano de Estratégia: Plano abstrato é o ponto de partida para entendimento dos objetivos do projeto, tanto por parte de vista do usuário (suas necessidades) como da empresa/serviço (regras de negócio). É norteado pelas perguntas "o quê? para quê? para quem?" que ao serem respondidas fundamentam quais os melhores requisitos necessários àquele projeto.
- Plano de Escopo: Transforma as aspirações e objetivos contidos no Plano de Estratégia, convertendo-os em definições de especificações funcionais e de requisitos de conteúdo para o sistema.
- Plano de Estrutura: No terceiro plano é projetado o modo como as pessoas irão interagir com o produto. O designer deve mapear todos os fluxos de navegação, além de pensar em novas interações que podem melhorar a experiência.
- Plano de Esqueleto: Neste plano são definidos o design de navegação, informação e comportamentos de interface.
- Plano Sensorial: Na primeira edição do livro o autor se referia a "Plano de Superfície", contudo revisitou o conceito na segunda edição para expandi-lo, envolvendo não só o design visual, mas também o comportamento sonoro, tátil e háptico da interface. É considerada a parte concreta do produto, pois é onde o usuário terá de fato um contato com ele, baseado em tudo levantado durante todos os planos anteriores.

Essas cinco etapas foram criadas para serem trabalhadas de forma conjunta e dependentes, pois o início do desenvolvimento de uma etapa depende do andamento da etapa anterior. Não se trata de uma abordagem *waterfall*, que utiliza fases sequenciais com etapas que só iniciam após a finalização da anterior, mas sim de um processo de adição que permite o desenvolvimento de planos de maneira sobreposta, como exemplificado na Figura 16 (GARRET, 2011).

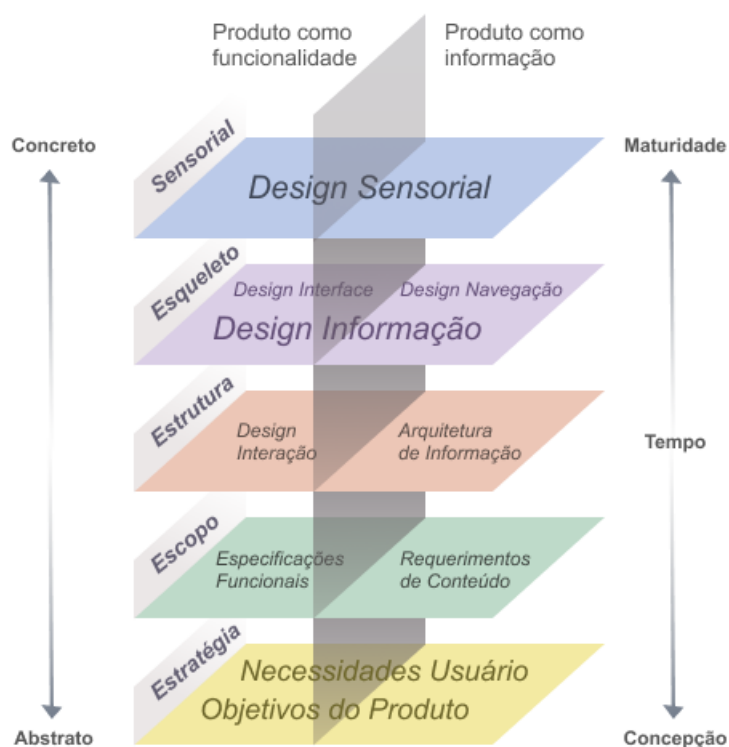


Figura 16 – Diagrama visual dos planos de experiência do usuário Fonte: Autor (2022) adaptado de Garret (2011)

Outro exemplo significativo é a proposição do *framework* PACT (BENYON, 2013) que distribui o processo com menor ênfase numa linha temporal e mais no design de interação apoiado nesses quatro eixos: Pessoas, Atividade, Contexto e Tecnologia (PACT).

Benyon (2013) parte do princípio que precisamos um estudo profundo sobre os usuários (**Pessoas**) para os quais queremos projetar (Figura 17), entender suas questões físicas, comportamentais, psicológicas, diferenças sociais e seus modelos mentais. Com base nesse mapeamento é possível planejar quais as características das **Atividades** mais adequadas para o designer de interação aplicar para esse perfil de usuário, se serão atividades colaborativas, feitas de modo privado, com tratamento de grandes quantidades de dados, etc.

Com o "P" e o "A" definidos é preciso entender o **Contexto** no qual todas essas ati-

vidades serão executadas. Isso envolve aspectos do ambiente físico, contexto social, mobilidade, etc. Usar uma aplicação caminhando pela rua necessita de atividades que possam ser realizadas nesse contexto por um determinado perfil de usuário, por exemplo. Já para aplicações em mesas tangíveis, as quais ficam fixas num determinado ambiente, a dinâmica é outra. Isso direciona o modo como interagir com esses sistemas por **Tecnologias** que possam permitir a manipulação dos dados conforme o desejado.

Definições de tecnologia, como dispositivos de I/O, estabelecem em parte o modo como se estabelece a comunicação e o tipo de conteúdo disponível que se deseja apresentar aos usuários.

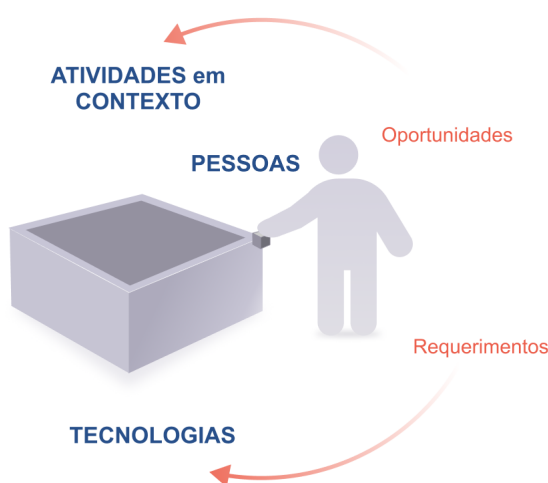


Figura 17 – Diagrama de relações do *framework* PACT. Fonte: Autor (2022) adaptado de Benyon (2013)

Esses são apenas dois exemplos ilustrativos sobre uma variedade extensa de outros *frameworks* projetuais para o design de interação utilizados pela comunidade.

3.1.3 Avaliação: Abordagens, métodos e instrumentos

Dentro da área de IHC existe um campo específico que investiga os processos de avaliação das UI, através de ferramentas e abordagens que visem garantir metodologias que apoiem os projetistas para compreender e melhorar o processo de interação. Alguns dos principais objetivos de se realizar avaliação de UI são (HARTSON, 1998)(PREECE; ROGERS; SHARP, 2013):

- Identificar as necessidades dos usuários ou verificar o entendimento dos projetistas sobre estas necessidades;
- Identificar problemas de interação ou de interface;
- Investigar como uma interface afeta a forma de trabalhar dos usuários;

- Comparar alternativas de projeto de interface;
- Alcançar objetivos quantificáveis em métricas de usabilidade;
- Verificar conformidade com um padrão ou conjunto de heurísticas;

Durante o processo de avaliação é realizada uma validação da aplicação e, dependendo dos objetivos propostos, é escolhida uma metodologia de análise, a qual tem características e diversos níveis de envolvimento do usuário final. Dentro da literatura da área de IHC são apresentadas algumas abordagens gerais de avaliações: Usabilidade, Experiência de Usuário e Comunicabilidade (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

Comunicabilidade é uma abordagem que privilegia a participação direta dos usuários na identificação de falhas de comunicação de um projeto de interface no tempo de interação, através do mapeamento de determinadas expressões verbais dadas pelos usuários. Tem por objetivo avaliar a comunicação entre a aplicação (ou o que o desenvolvedor tinha como expectativa de mostrar com um certo elemento da aplicação) e o entendimento dessa mensagem pelo usuário. Nesse processo o usuário faz uso da aplicação enquanto é observado pelos avaliadores e expressões orais (como por exemplo: onde estou?/ o que é isso?) são captadas durante a avaliação (PRATES; SOUZA; BARBOSA, 2000).

Usabilidade é uma abordagem cujo objetivo é avaliar como é dada a comunicação entre o usuário e o sistema, ou seja, identificar quão fácil e rápido é para o usuário entender a aplicação, interagir com ela, avaliar a eficácia da interface na execução de tarefas e como o sistema e o usuário reagem caso ocorra qualquer tipo de erro (SHNEIDERMAN, 2010).

De modo geral são avaliados os seguintes fatores: (a) o usuário conseguiu interagir com o sistema aprendendo suas funcionalidades, (b) o usuário conseguiu encontrar suas funcionalidades de acordo com sua necessidade, (c) o usuário conseguiu lembrar e repetir uma tarefa, (d) o usuário não cometeu erros ou caso tenha cometido, ele conseguiu resolver e (e) o usuário esteve satisfeito com o sistema (NIELSEN, 1994).

Para avaliar a usabilidade de um sistema é necessário que este cumpra adequadamente suas funcionalidades previstas e auxilie os usuários na execução de suas tarefas (PRATES; BARBOSA, 2003). Segundo Rocha; Baranauskas (2003), a avaliação de usabilidade deve ocorrer durante todo o ciclo de vida de um sistema, ou seja, deve-se avaliar a usabilidade desde o início do desenvolvimento, uma vez que realizar ajustes ao final do ciclo vai se tornando cada vez mais difícil e mais caro.

De fato, qualquer experiência provoca uma sensação ao usuário, e a abordagem de avaliação de **experiência do usuário** considera a interação desse usuário com a aplicação na totalidade (ALBERT; TULLIS, 2013). É uma abordagem que avalia não

só a usabilidade do sistema, como também os sentimentos e percepções do usuário durante o processo de utilização e experimentação de interagir de uma determinada aplicação.

Dentro de cada uma dessas abordagens existem muitos métodos e técnicas para avaliar diversos aspectos de uma aplicação. Segundo Barbosa; Silva (2010), os métodos de avaliação em IHC se dividem em dois grupos principais: métodos de inspeção e métodos empíricos (experimentais).

Os **Métodos de inspeção** objetivam antecipar problemas com uma análise da interface executada, geralmente por especialistas, sem a necessidade de verificar a interação final com os usuários do sistema. Os exemplos mais conhecidos desta técnica incluem: avaliação heurística, avaliação com lista de verificação (*guidelines*) ou recomendações entre outros.

Um grupo de especialistas em IHC com base em diversos experimentos têm possibilidade de criar um conjunto consistente de verificações que podem ser aplicadas antecipadamente ao uso final da aplicação, de modo a corrigir em etapas iniciais de desenvolvimento erros básicos.

Como exemplo mais recorrente desse método temos as Heurísticas de Nielsen (NIELSEN, 2005), as quais são amplamente utilizadas como um método rápido, de baixo custo, aplicado por um grupo de especialistas em uma determinada UI.

Nielsen (2005) propôs um conjunto básico de heurísticas (evoluído desde a versão inicial de 1991) onde cada elemento de interface deve ser analisado para verificar sua conformidade com cada uma das seguintes heurísticas:

- Visibilidade do estado do sistema: mantenha os usuários informados sobre o que está acontecendo, através de *feedback*;
- Similaridade entre o sistema e o mundo real: utilize conceitos, termos e processos familiares aos usuários;
- Controle e liberdade do usuário: forneça alternativas e “saídas de emergência”;
- Possibilidades de retornar e repetir uma determinada ação;
- Consistência e padronização: palavras, situações e ações semelhantes devem significar conceitos semelhantes;
- Prevenção de erro: tente evitar que o erro aconteça, informando o usuário sobre as consequências de suas ações ou, se possível, impedindo ações que provoquem erros;
- Recuperação de erros: mensagens de erro em linguagem simples, sem códigos, indicando precisamente o problema e sugerindo de forma construtiva um caminho alternativo para sua correção;

- Reconhecimento em vez de memorização: torne objetos, ações e opções visíveis e compreensíveis;
- Flexibilidade e eficiência de uso: ofereça atalhos e caminhos alternativos para uma mesma tarefa; permita que os usuários customizem ações frequentes;
- Design estético e minimalista: evite porções de informação irrelevantes;
- Ajuda deve ser fáceis de buscar e usar, focadas nas tarefas do usuário, e devem listar passos concretos a serem efetuados para atingir seus objetivos.

Para cada problema encontrado, ou seja, para cada heurística violada, deve-se definir ainda a localização do problema, ou seja, onde ele ocorre na interface, e sua gravidade.

Percebe-se que esse pacote extenso proposto por Nielsen (2005) é amplamente condicionado as GUI, pois não contempla algumas características presentes numa TUI, como considerar o uso colaborativo por vários usuários, ou em como o espaço físico da aplicação permite ou não acessibilidade, etc.

Com o sentido de permitir um poder maior de observação surgem os **Métodos empíricos ou experimentais**, os quais utilizam a análise do usuário interagindo com a aplicação para a identificação de possíveis problemas. São exemplos desta técnica: observação, entrevista e execução de tarefas com os usuários.

Com base nesses métodos e com foco numa determinada abordagem de avaliação, diversos instrumentos/ferramentas são utilizados para mensurar a qualidade de uso de uma aplicação, podendo estes serem quantitativos e/ou qualitativos. Os resultados obtidos são agrupados com posterior análise dos dados a fim de extrair conclusões a respeito do que se pretendeu avaliar e/ou validar na aplicação.

Alguns dos principais instrumentos de avaliação (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013) (BARBOSA; SILVA, 2010) utilizados nos diversos métodos e abordagens são:

- **Inspeção por heurísticas:** Dentro do método de inspeção, o exemplo já citado anteriormente, e mais popular, é justamente as Heurísticas de Nielsen que apresentam diretrizes para avaliação de usabilidade de interfaces. Ainda são bastante utilizadas em determinadas situações para verificar aspectos específicos do processo de interação, como, por exemplo, heurísticas para avaliar a acessibilidade (TANAKA, 2009);
- **Entrevista:** O avaliador faz uma série de perguntas para os usuários a fim de extrair como foi sua experiência ao utilizar a aplicação e durante o andamento da entrevista podem surgir outras questões a serem abordadas. O contexto do local pode levar a entrevista a ser totalmente estruturada (baseada num roteiro

pré-determinado), semi-estruturada com possibilidade de criação de questões de acordo com andamento da entrevista ou totalmente sem roteiro pré-determinado. De acordo com Gil (2009), a entrevista se define como um método de avaliação em que o pesquisador se coloca na frente do entrevistado e formula perguntas para obter dados de interesse particular;

- **Questionário:** Após fazer uso da aplicação o usuário é apresentado a um questionário com um conjunto de perguntas, podendo ser com questões para respostas descritivas ou em escala entre dois adjetivos opostos (gostei-não gostei/concordo-discordo). Questionários bem projetados são eficientes para captação de respostas de um grande número de pessoas em questões mais específicas, podendo ser utilizado com outras técnicas. Podem mensurar tanto aspectos de usabilidade, como, por exemplo, o Sistema de Escala de Usabilidade (*System Usability Scale - SUS*) criado por Brooke et al. (1996), como também privilegiar o entendimento de UX como o questionário *AttrakDiff*² (HASSENZAHL; BURMESTER; KOLLER, 2003), o qual consiste em uma escala que utiliza 28 pares de adjetivos opostos (diferenciais semânticos);
- **Observação:** Nem sempre os usuários conseguem expressar como foi sua experiência no uso de uma interface ou sistema por uma entrevista, ou questionário. A observação da interação do usuário com o sistema permite ao especialista ter uma visão dos problemas sendo vivenciados pelos usuários durante o uso. A observação pode ser registrada usando-se anotações, gravação de vídeo e áudio da interação, ou uma combinação destas (GIL, 2009) (BARBOSA; SILVA, 2010);
- **Grupo focal:** Enquanto as entrevistas e observações tendem a ser mais individuais na perspectiva de uma pessoa, o grupo focal pode trazer mais aspectos gerais sobre uma aplicação, pois envolve um determinado grupo de usuários que são o perfil de usuário desejado. Grupos focais normalmente envolvem roteiros pré-definidos e buscam pontos de vista diversos através do grupo. Segundo Jordan (2003), as discussões num grupo focal podem abranger, por exemplo, as experiências dos usuários em relação à utilização de uma interface em particular, os requerimentos para uma nova interface, informações sobre o contexto onde se realizam tarefas específicas, ou problemas associados com a utilização de uma interface;
- **Pense Alto:** É um tipo de método experimental no qual o avaliador solicita que o usuário fale em voz alta tudo que lhe vem a cabeça durante o uso da aplicação

²www.attrakdiff.de

(*thinking aloud*) (JØRGENSEN, 1990). É uma variação da ferramenta de observação mesclada com entrevista, na medida que o avaliador toma nota dessas expressões que o usuário manifestou enquanto pode fazer questões e direcionar tomadas de decisões para alcançar o objetivo proposto na avaliação.

Para cada processo de avaliação é possível usar um ou mais instrumentos, por exemplo, para Comunicabilidade pode-se utilizar Observação e Pense Alto, para Usabilidade e Experiência de Usuário pode-se utilizar Entrevista, Questionário, Observação e Pense Alto. A escolha dos instrumentos de avaliação fica ao critério dos desenvolvedores.

Preece; Rogers; Sharp (2013) sugerem um *framework* cujo objetivo é auxiliar no planejamento e na implementação e análise dos processos avaliativos de uma UI. O *framework* DECIDE (*Decide, Explore, Choose, Identify, Decide, Evaluate*) fornece uma lista de verificações (*checklist*), lembrando pontos críticos sobre os quais os desenvolvedores devem colocar atenção no processo de avaliação. São seis itens:

- **Determine** - Determinar os objetivos da avaliação;
- **Explore** - Explorar as questões;
- **Choose** - Escolher os métodos de avaliação;
- **Identify** - Identificar as questões práticas;
- **Decide** - Decidir como lidar com as questões éticas;
- **Evaluate** - Avaliar, analisar e interpretar os dados;

Uma discussão sobre abordagens de avaliação no contexto de TUI é feito a seguir no Item 3.2.3. Isso é justificado na medida que deve-se considerar que boa parte dos métodos, ferramentas e abordagens criadas e apresentadas acima foi feita baseando-se em interfaces gráficas, sem considerar as especificidades da interação tangível.

3.1.4 Estilos de interação: evolução e cenário atual

A maneira como os usuários se relacionam com os sistemas computacionais evoluiu com o passar do tempo. Historicamente o desenvolvimento das UI ocorreram dentro de paradigmas criados na própria evolução tecnológica dos dispositivos computacionais.

No princípio, os humanos precisavam se adaptar para entender a linguagem das máquinas através de interfaces que eram ou cartões de papel, ou baseadas em comandos inseridos no teclado. Isso delimitava a ação dos computadores a cenários específicos (como uso militar, por exemplo) demandando conhecimento especializado de linguagens de programação específicas para comunicação com o sistema.

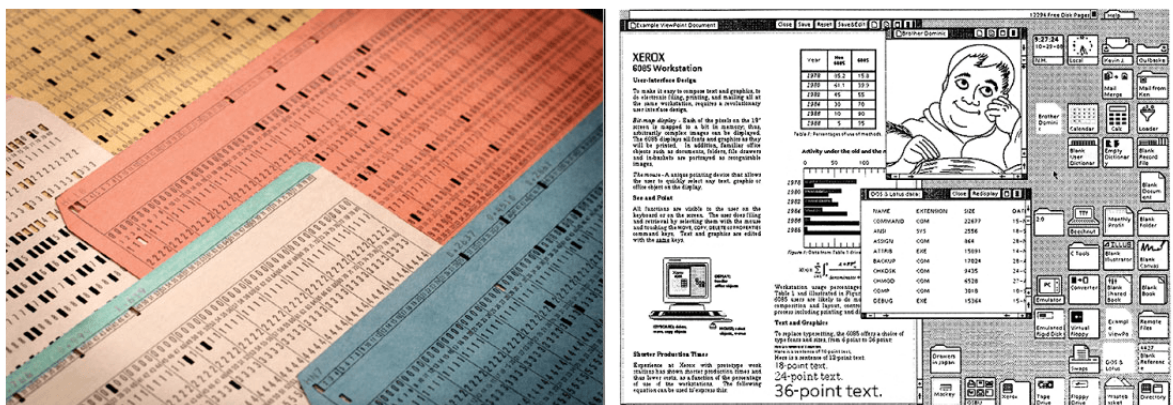


Figura 18 – Cartões perfurados - uma das primeiras interfaces com computadores, bem como um meio de armazenamento de dados (à esquerda). No início dos anos 80 (1981) a Xerox desenvolvia seu primeiro conceito de GUI (à direita), interface que quase eliminou interações por linha de comando até o final da década. Fonte: Autor (2022) baseado em Galitz (2007) e Saffer (2010)

A grande mudança para popularização dos sistemas computacionais e apropriação deles como um "bem de consumo de massa" foi o surgimento do conceito de computador pessoal, o qual, desde o início, apresentava um sistema operacional que privilegiou a interface gráfica dentre os dois principais atores do mercado: Mac OS e Microsoft Windows.

A GUI, tal como a conhecemos hoje, teve origem no desenvolvimento feito pela empresa Xerox em 1981 (Figura 18). O conceito principal desse tipo de UI, desde o princípio, se baseia num modelo mental que utiliza o conhecimento prévio do usuário, por metáforas de utilização de um escritório real, não havendo desse modo a necessidade de aprendizagem de linguagens de comando específicas da computação (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

Mesmo sendo a principal forma de UI há mais de 30 anos, as GUI tiveram pouca evolução nesse período. Pode-se dizer que essa evolução se deu mais em questões estéticas gráficas (elementos tridimensionais, mais possibilidades de cor e tipografia) do que grandes mudanças de paradigma sobre os elementos básicos que constituem essa forma de interagir com as interfaces gráfica (paradigma WIMP).

Hoje dispõe-se de várias possibilidades de interação mais próximas à linguagem humana, por exemplo, através de dispositivos/sensores que monitoram desde o nosso balançar do braço (gesto / Interface Natural), nossa fala (voz / Interface por Comandos de Voz), nosso pensamento (atividade elétrica do cérebro / Interface cérebro-computador) ou manipulação de objetos físicos (tato / Interface Tangível do Usuário) como uma ação de entrada para uma determinada saída em uma dada tecnologia (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

Essa interação com os sistemas computacionais, mais próxima a linguagem e aos sentidos humanos, se popularizou na medida que dispositivos foram comercialmente

lançados, principalmente na indústria dos jogos eletrônicos, com o uso de dispositivos como o Microsoft Kinect ³, Playstation Move ⁴ e Nintendo WiiU ⁵. Assistentes pessoais que utilizam interação por comandos de voz, como a Alexa ⁶ e Google Home ⁷ já apresentam popularidade enquanto realidade virtual (com o Hololens ⁸, por exemplo) e outros dispositivos como o Muse ⁹, UltraLeap ¹⁰ e a pulseira MYO ¹¹ apresentam-se como tendências ainda em desenvolvimento.

Na esteira do desenvolvimento dessas diversas soluções comerciais que operam a interação num modelo pós WIMP surge também a própria interface tangível, a qual será detalhada a seguir no item 3.2.

3.1.5 Considerações sobre design de interação

Alguns apontamentos gerais sobre os conceitos e a área de design da interação:

- O design de interação é uma área "guarda-chuva", a qual cobre diversas subáreas do conhecimento convergentes na busca das melhores práticas para o projeto de aparatos digitais que se comuniquem adequadamente com as pessoas no seu dia-a-dia (item 3.1.1);
- Uma melhor experiência do usuário é o principal objetivo do designer de interação, o qual busca mediar as relações entre os diversos interesses relacionados a um artefato digital. Para além da boa usabilidade é preciso compreender que toda tecnologia gera um impacto emocional e gerenciar essa relação faz parte do trabalho (item 3.1.1.1);
- *Feedback e affordance* são essenciais para conferir um bom relacionamento entre usuários e UI. Através dessas características, e o modo como são usadas, pode-se saber se a conversa entre as pessoas e as máquinas está funcionando (interação) (item 3.1.1.2);
- Compreender as diversas necessidades de uso de uma interface, utilizando as capacidades dos usuários, conferindo flexibilidade ao sistema de modo que reaja a essas habilidades, possibilita a acessibilidade ampla ao seu uso (item 3.1.1.3)
- Conforme o desenvolvimento prático da área de conhecimento do design de interação, observou-se que alguns modos de organização dos elementos básicos

³<http://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>

⁴<http://www.playstation.com/en-us/explore/accessories/playstation-move>

⁵<http://www.nintendo.com/wiiu/>

⁶<https://alexa.amazon.com.br/>

⁷<https://support.google.com/googlenest>

⁸<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

⁹<https://choosemuse.com/>

¹⁰<https://www.ultraLeap.com/>

¹¹<http://www.myo.com/>

da comunicação (palavras, imagens, etc), no projeto de interfaces, funcionava melhor. Esses comportamentos quando consolidados geram determinados princípios gerais de design (item 3.1.1.4);

- Vários desses princípios de design, quando agrupados, sugerem a criação de padrões ou recomendações de design. Esses padrões consolidam o conhecimento prático através da observação em uma nova estrutura teórica (*framework*);
- Ao projetar uma interface existe um determinado padrão de uso mesma, um modo de "conversar". Esse modelo de representação, criado pelo designer, deve buscar se aproximar do modelo mental do usuário, de modo que a interação com o sistema seja transparente e mais próximo possível do que ele imagine (modelo mental do usuário);
- Com o uso de *frameworks* e diretrizes projetuais originadas da teoria e fundamentadas na prática, busca-se otimizar tanto a construção de um projeto de design de interação como também otimizar o "modelo mental" aplicado (item 3.1.1.5);
- As etapas de desenvolvimento de um projeto de design de interação são similares entre diversas metodologias (levantamento de requisitos, geração de alternativas, prototipagem e avaliação), contudo a abordagem pode ser condicionada por um maior ou menor envolvimento do usuário, impactando nas ferramentas do método que serão utilizadas (item 3.1.2);
- Mesmo que os designers de interação sigam todas as boas práticas de desenvolvimento de interfaces já consolidadas para garantir uma alta qualidade de uso de seu sistema, isso só vai ser aferido por processos de avaliação que envolvam usuários finais (item 3.1.3)
- Existem *frameworks* tanto relacionados a prática de produzir uma UI, como sugerir abordagens metodológicas de desenvolvimento, como também dar diretrizes gerais para prescrever processos de avaliação;
- O desenvolvimento da tecnologia permite que cada vez mais seja possível o relacionamento entre humanos e máquinas de maneira natural, utilizando a linguagem e os sentidos dos usuários, conforme nos apresenta o item 3.1.4;

Partindo desses apontamentos gerais sobre o design de interação, pode-se identificar um processo de construção de conhecimento teórico que vem da atividade prática. Com base na observação do projeto de interfaces e em como os usuários as utilizam,

criam-se determinados princípios que vão se agrupando em estruturas mais complexas formando *frameworks* que auxiliam designers de interação desde a construção até avaliação.

Esses *frameworks* consolidam o conhecimento de como todos esses conceitos básicos de design de interação podem ser bem aplicados num determinado domínio da aplicação em uma UI específica, no caso dessa tese em uma TUI no dispositivo mesa tangível. A seguir apresenta-se com detalhes o que é uma TUI e no que difere da interação com uma interface gráfica. Dessa forma, pode-se indicar as especificidades da interação tangível e discutir se as metodologias/*frameworks* projetuais apresentados anteriormente são suficientes a ponto de considerá-las.

3.2 Interfaces Tangíveis do Usuário

Essa seção tem por objetivo apresentar o que é uma TUI, seu desenvolvimento e a consolidação como campo de pesquisa na área de IHC, bem como pormenorizar suas características, aplicações, oportunidades e limitações dentro da pesquisa dessa Tese (Item 3.2.1). A seguir descrevem-se os principais *frameworks* sobre interfaces tangíveis do usuário (Item 3.2.2), os desafios no processo de avaliação (Item 3.2.3) e uma lista de considerações sobre o apresentado na seção (Item 3.2.4).

3.2.1 Conceituação, gêneros de aplicação, possibilidades e limitações

A noção inicial de "interface tangível" está diretamente ligada aos estudos desenvolvidos no início dos anos 90, através da discussão da computação ubíqua. O livro "*Back to the real world*" de Wellner; Mackay; Gold (1993) argumenta que tanto a computação pessoal, como a incipiente realidade virtual, afastam os humanos de seu "ambiente natural". O ponto era de que os usuários eram forçados a se inserir no mundo virtual, enquanto, na verdade, a direção deveria ser oposta, de utilizar a tecnologia como modo de "enriquecer" a experiência com o mundo real. Esta abordagem foi motivada pelo desejo de manter a riqueza e localização da interação física, e pela tentativa de incorporar a computação em ambientes existentes e as práticas humanas, permitindo transições fluidas entre "o digital" e "o real" (WELLNER; MACKAY; GOLD, 1993).

Desses conceitos iniciais discutidos na computação ubíqua, levou-se um tempo até que as ideias evoluíssem para um estilo de interação próprio. Somente em 1995 Fitzmaurice; Ishii; Buxton (1995) criam o conceito de "interface agarrável", e em 1997 Ishii; Ullmer (1997) apresentam sua visão mais abrangente de "bits tangíveis".

As características da "interface agarrável" de Fitzmaurice; Ishii; Buxton (1995) apresentavam como vantagens em relação as tradicionais UI: uso de interação com as duas mãos, uso de dispositivos especializados e sensíveis a contexto, mais entra-

das paralelas de interação pelos usuários, melhorando dessa forma a expressividade e capacidade de comunicação com o computador, permitindo interação colaborativa que utiliza as habilidades sensoriais. Mesmo que ainda muito no campo conceitual, essa identificação de novas possibilidades e vantagens em relação as UI existentes permitiram que Ishii; Ullmer (1997) e seu grupo de pesquisa criassem sua visão mais abrangente, centrada em transformar o mundo físico em uma interface que conecta objetos e superfícies com dados digitais.

Enquanto uma "interface agarrável" enfatizava a habilidade de manipular manualmente objetos, o termo "tangível" engloba um conjunto de ações multissensoriais para além do ato de "pegar algo". Com base neste trabalho de Ishii; Ullmer (1997), o termo Interface Tangível do Usuário (TUI) surge de fato como um novo estilo de interação discutido na comunidade de IHC.

Dourish (2001) contribui com essa discussão, trazendo vários conceitos baseados na ideia de integrar a computação em nosso mundo cotidiano sob o termo "computação tangível". Esses conceitos incluem TUIs, computação ubíqua, realidade aumentada, salas reativas e dispositivos sensíveis ao contexto. A computação tangível abrange três tendências: distribuir a computação por muitos dispositivos especializados e em rede no ambiente, aumentar computacionalmente o mundo cotidiano para conseguir reagir ao usuário e permitir que esses interajam manipulando objetos físicos.

LIT 01 Ele elenca três conceitos fundamentais distribuídos nessas tendências para a computação tangível:

- Nenhum local único de controle ou interação, apenas uma interação coordenada de diferentes dispositivos e objetos;
- Sem sequência imposta (ordem de ações) e sem modal de interação; e
- O design dos objetos da interface faz uso intencional de *affordances* que orientam o usuário em como interagir.

Incorporar a computação no ambiente cria uma "interação incorporada", a qual está social e fisicamente situada num determinado local e contexto. Isso define que a configuração do ambiente afeta a funcionalidade computacional, e a posição e orientação dos usuários são tão relevantes como as ações interpretadas. O termo computação tangível enfatiza essa manifestação material da interface e a incorporação da computação no ambiente (DOURISH, 2001).

As TUIs surgiram justamente como uma nova maneira de inserir a tecnologia digital em um ambiente físico, representando a informação digital através de uma forma física. Numa TUI os elementos físicos e os elementos virtuais quase não têm distinção, tornando a tecnologia praticamente invisível (ISHII, 2008a).

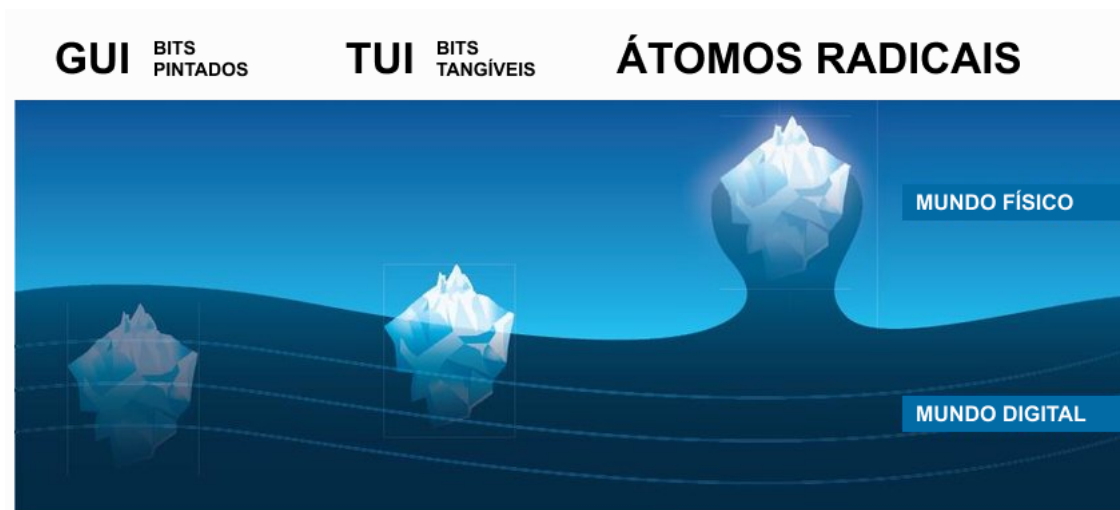


Figura 19 – Metáfora do iceberg para evolução das UI. Fonte: Ishii (2008)

Ishii (2008a) utiliza a metáfora de um iceberg para mostrar sua visão do processo evolutivo das UI, como pode ser visto na Figura 19. O mundo digital é representado pela água enquanto o mundo físico é tudo que está fora dela. Nota-se que as GUIs são o início de tudo e estão imersas no mundo digital. As GUIs, tipicamente usam mouse, teclado e toque na tela, representam tudo numa dimensão limitada aos píxeis (ou "bits pintados").

A primeira grande onda evolutiva corresponde aos dias atuais e advém das interfaces tangíveis, as quais nos possibilitam mesclar elementos dos dois mundos e agregam aos píxeis (exibidos em monitores, celulares ou outros dispositivos de exibição) elementos do mundo físico, que podemos tocar e pegar. Por fim, Ishii (2008b) propõe que a última fronteira das interfaces seriam os "átomos radicais", nesse caso os próprios materiais físicos responderiam ao nível atômico as manipulações dadas pelos usuários, levando a interação somente para o mundo físico com dados digitais.

O diferencial da interface tangível, portanto, é a presença do elemento físico como meio de interação. Neste tipo de interface os usuários podem manipular objetos para trocar sua posição ou seu formato (Figura 1).

A interface tangível se situa entre o mundo físico e o digital, sendo que no mundo físico o usuário controla o material físico como uma 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 numa interação tangível (ISHII, 2008b).

Interação tangível é um termo sugerido por Hornecker; Buur (2006) para abordar

um campo mais abrangente que TUI, preocupando-se com a interação social através de aplicações tangíveis e englobando a questão da interação com o ambiente e a gesticulação corporal.

Jacob et al. (2008) trouxeram dentro dessa abordagem o conceito de Interação Baseada em Realidade para definir novos estilos de interação das aplicações voltadas às habilidades do usuário. **LIT 02** Este contexto sugere que a interação com a informação digital tangível 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 e sua natural habilidade de interagir com ele;
- **Consciência corporal:** a noção que o usuário tem do seu corpo e a habilidade de coordenar seus gestos no espaço;
- **Consciência ambiental:** a percepção que o usuário tem do ambiente ao seu redor e sua habilidade de interagir com o mesmo;
- **Consciência social:** a percepção que o usuário tem dos outros usuários no mesmo ambiente, a comunicação entre os mesmos e a habilidade de realizar tarefas em conjunto para alcançar o mesmo objetivo.

O modo como o objeto físico se relaciona com a informação digital nesse tipo de interação possibilita várias configurações, gerando diferentes gêneros de aplicações (ISHII, 2008b) para interfaces 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 a interação e troca de informações de forma visual ou sonora com o usuário, 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 deste resulta em um determinado efeito sonoro;
- **De Construção:** objetos são encaixados a fim de formar um objeto tangível mais complexo, um exemplo disso é o dispositivo Topobo (detalhado a seguir);
- **Tokens:** baseados em objetos físicos que representam uma operação ou informações, como, por exemplo, o reconhecimento de cartões;

em **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 resultando em um movimento de um objeto físico/digital;

- **Mesas Tangíveis:** dispositivo objeto dessa tese, são superfícies que permitem a manipulação colaborativa entre os usuários via objetos físicos. Neste gênero sensores captam o movimento e o *feedback* visual/sonoro/háptico é apresentado na mesma superfície ou sobre os objetos;
- **Memória de Movimento Tangível:** o objeto consegue gravar e repetir o movimento dado com algum tipo de entrada de dado, como, por exemplo, interação com alguns tipos de robôs.

Grande parte das aplicações dentro desses gêneros relatados por (ISHII, 2008b) geram protótipos únicos, os quais são definidos pelos seus próprios dispositivos. Algumas dessas aplicações ganharam relevância de contribuição para área, bem como viabilidade de serem produtos comercializáveis com relativo destaque.

Desenvolvida inicialmente por um grupo de pesquisa da *Pompeu Fabra University*, o *Reactable* ¹² foi criado em 2009 e comercializado até 2022. O Reactable (Figura 20) é um instrumento de música eletrônica que consiste em uma mesa digital na qual objetos físicos são dispostos sobre a mesa e, a partir da forma com que os objetos são posicionados e conforme movimentados na superfície, a aplicação reflete um som diferente (JORDÀ et al., 2007).

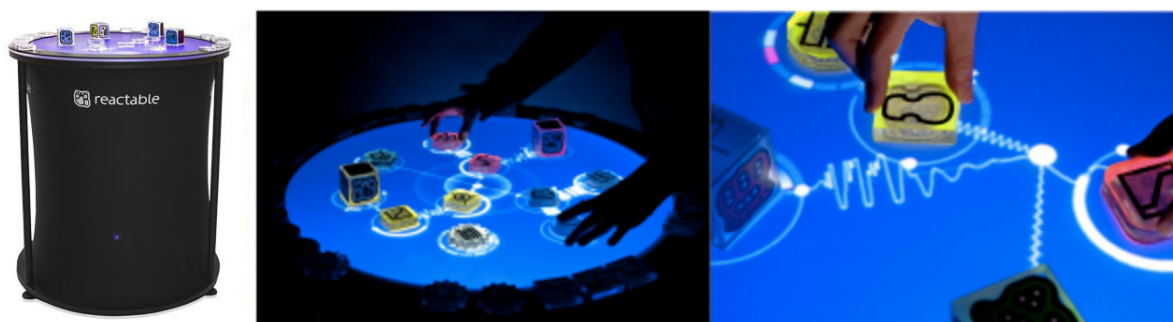


Figura 20 – Reactable (à esquerda) e usuários manipulando os *tokens* sobre a mesa (ao centro e à direita) Fonte: reactable.com (2022)

Com base no desenvolvimento desse dispositivo, várias contribuições foram dadas para a construção de *toolkits* de implementação de mesas tangíveis, com destaque ao ReactVision (KALTENBRUNNER; BENCINA, 2007).

Já o Topobo¹³ (Figura 21) é um exemplo de gênero TUI de construção através d ferramenta criada por Hayes Raffle e Amanda Parkes no *MIT Media Lab* que une a manipulação do físico com o digital. Consiste em um material lúdico para crianças entre 5 e 10 anos aprenderem conceitos de cinemática. Cada peça do robô funciona

¹²reactable.com

¹³www.topobo.com

de forma independente e na medida que as peças vão se encaixando o robô aprende a se movimentar através da memória cinética (RAFFLE; PARKES; ISHII, 2004).



Figura 21 – Ferramenta Topobo, gênero de TUI de construção Fonte: www.topobo.com (2021)

Esses são apenas dois exemplos de aplicações em diversos tipos de gêneros de TUIs, os quais 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.

Depois de uma revisão sobre o cenário desses gêneros e de suas aplicações, com base nas publicações científicas da área, Shaer; Hornecker (2010), Costa et al. (2018), Li et al. (2022) e Rodić; Granić (2022) elencaram as principais áreas de uso da interação tangível: área da educação, planejamento e resolução de problemas, visualização de informação, *edutainment*¹⁴, entretenimento, música e comunicação social.

Percebe-se que todas essas principais áreas gerais de domínio para aplicações TUI utilizam justamente as características fundamentais da interação tangível elencados por Jacob et al. (2008), privilegiando interações sociais, utilizando o componente espacial e multissensorial no contexto do seu objetivo.

3.2.2 Frameworks de interfaces tangíveis do usuário

Como em qualquer campo relativamente novo de investigação, os primeiros esforços de pesquisa dentro da área de IHC foram no sentido de criar estruturas que possibilitassem um melhor entendimento sobre as relações dos diversos elementos que constituem uma TUI e o processo de interação tangível.

Dada a variedade de gêneros e as possibilidades geradas pelas TUIs, várias foram as abordagens desenvolvidas com o passar do tempo, que vão desde *frameworks* conceituais, que buscam definir taxonomias ou categorias, além de outras que direcionam

¹⁴Edutainment é a junção das palavras "education" (educação) e "entertainment" (entretenimento) e refere-se à produção de conteúdos educacionais com a utilização de ferramentas de entretenimento como jogos, filmes, brincadeiras, entre outros.

seus esforços no próprio processo de interação. O objetivo nessa seção é apresentar os principais exemplos de cada um desses tipos no sentido de relacioná-los ao produto final dessa Tese.

Nenhum dos exemplos que será citado a seguir é diretamente relacionado exclusivamente para mesas tangíveis. Contudo, eles foram criados em um determinado contexto, com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de aplicações com interações tangíveis de modo geral.

Ao examinar essas diversas abordagens percebe-se que cada uma delas oferece diferentes perspectivas sobre esse espaço de pesquisa e fornecem diferentes maneiras de orientações para os designers de interação.

Alguns autores falam *frameworks*, outros sobre diretrizes, modelos ou taxonomias. Embora esses termos sejam frequentemente usados de forma similar, existem diferenças importantes. *Frameworks* podem ser visualizados como estruturas esqueléticas dentro das quais os designers de interação podem trabalhar para desenvolver seus próprios sistemas. Essas estruturas podem abordar diferentes aspectos ou estágios do processo de design e podem variar de descrições muito específicas a muito amplas (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013).

As diretrizes tendem a ser mais específicas e podem fazer parte de certas estruturas. Elas geralmente podem ser pensadas como sinalizadores ou indicadores que podem ajudar os designers a selecionar um curso de ação em seu processo de design, variando de etapas específicas a sugestões ou direções mais amplas. Os modelos geralmente servem como exemplos abstratos que descrevem o funcionamento de um sistema de maneira representacional. Já as taxonomias são categorizações ou classificações de diferentes sistemas, componentes ou processos, e desta forma também podem servir para estruturar e organizar o espaço de projeto. Em geral, *frameworks* são estruturas conceituais abrangentes que podem abranger diretrizes, modelos e taxonomias (SHNEIDERMAN et al., 2016).

3.2.2.1 **Modelo MCRpd**

Este modelo, proposto por Ullmer; Ishii (2000), foi um dos pioneiros a propor uma abordagem conceitual que discutisse as novas possibilidades de conectar os mundos físico e digital. Ele propõe uma mudança de paradigma sobre o modelo de interação MVC (*Model, View, Control*), para contemplar os temas de pesquisa que começaram a explorar a computação ubíqua, vestível, realidade aumentada e mista, além da interface tangível.

O paradigma da GUI delimita a interação humano-computador em termos de entrada e saída de dados de forma bem independente. A relação entre esses componentes é ilustrada pelo arquétipo “*model-view-controller*” ou modelo “MVC” – um modelo de interação para GUIs desenvolvido em conjunto com a linguagem de programação

Smalltalk-80 (ULLMER; ISHII, 2000). Conforme ilustrado na Figura 22 (a), o modelo MVC destaca a forte separação da GUI entre a representação digital (*view*) fornecida pela tela e a capacidade de controle (*control*) mediada pelo mouse e teclado. Já o Modelo MCRpd é proposto como uma abordagem de interação contemplando a interface tangível com o conceito "*model-control-representation (physical and digital)*".

Esse modelo (ilustrado a na Figura 22 b) mantém o "*model*" e "*control*" do MVC, enquanto divide o elemento "*view*" em dois subcomponentes: representações físicas ("*rep-p*") e representações digitais ("*rep-d*")

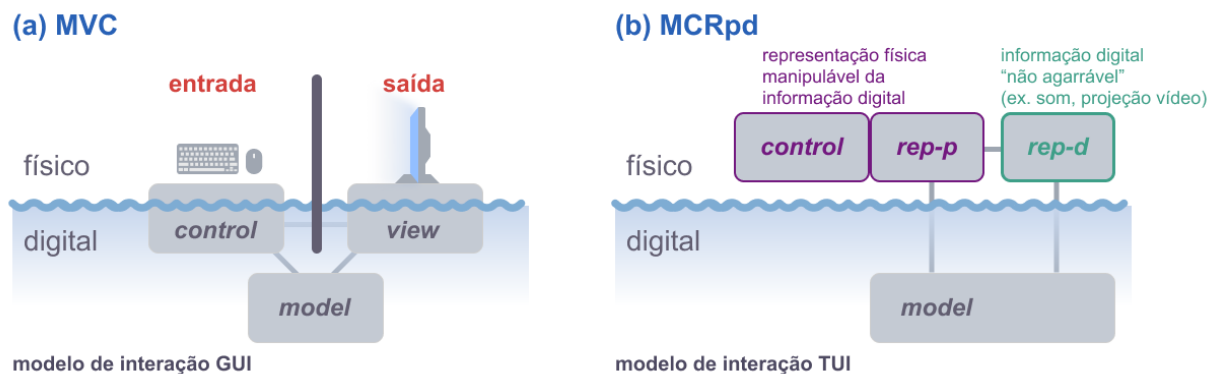


Figura 22 – (a) Modelo de interação GUI - MVC (b) Modelo de interação TUI - MCRpd Fonte: Autor (2022) baseado em Ullmer; Ishii (2000)

Essa integração proposta no modelo MCRpd não está presente apenas em um nível conceitual, mas também no ponto de vista prático – os objetos físicos da TUI incorporam tanto o caminho de controle quanto um aspecto central de representação (portador de informações) da interface computacional.

LIT 03 O MCRpd é um modelo de interação que oferece uma ferramenta de entendimento de várias propriedades importantes nas interfaces tangíveis, sendo muito útil para considerar as relações compartilhadas pelas representações físicas ("*rep-p*") nas TUIs, por exemplo, onde:

- as representações físicas ("*rep-p*") são acopladas computacionalmente à informação digital subjacente ("*model*");
- as representações físicas incorporam mecanismos de controle interativo ("*control*");
- As representações físicas são acopladas perceptivamente a representações digitais mediadas ativamente ("*rep-d*");
- O estado físico dos objetos de interface incorpora parcialmente o estado digital do sistema.

Conforme ilustrado na Figura 22, o modelo MCRpd não especifica se as representações físicas de uma TUI são compostas por um ou vários objetos físicos. Na prática, as interfaces tangíveis são geralmente construídas a partir de sistemas de objetos. Em conjunto, essas coleções de objetos têm várias propriedades importantes, pois eles não podem ser espontaneamente eliminados da existência. Onde uma janela GUI pode ser fechada ou duplicada com o toque de um botão, o mesmo não acontece com os objetos físicos em uma TUI.

3.2.2.2 O paradigma TAC

Com o objetivo de especificar as interfaces tangíveis, Shaer et al. (2004) propuseram um *framework* conceitual baseado em dois elementos principais e a relação entre eles: *Tokens* e *Constraints* (restrições).

Segundo os autores, antes de se desenvolver ferramentas de implementação é necessário um conjunto de estruturas que possam descrever a variedade de TUIs. O *framework* proposto fornece um conjunto de construções principais, que são, para as TUIs, o que são o WIMP para as GUIs.

Dentro da terminologia proposta (SHAER et al., 2004), as TUIs são formadas por *pyfos* - uma abreviação de *physical object* - os quais podem se comportar como *tokens* ou *constraints*. Um *pyfos* é qualquer objeto físico que faz parte de uma interface tangível, e pode ser formado inclusive por vários outros *pyfos*.

Um *token* é um *pyfo* manipulável que representa informação ou uma função computacional no aplicativo. O usuário interage com o *token* para acessar ou manipular as informações digitais. Uma *constraints* (restrições, tradução do autor) é um *pyfo* que limita o comportamento do *token* ao qual está associado. As propriedades físicas da restrição orientam o usuário no entendimento de como manipular o *token* e como interpretar suas regras.

Uma *constraints* limita o comportamento do *token* das três maneiras a seguir (SHAER et al., 2004):

- 1 - As propriedades físicas, como orientação, material, texturas, etc. devem sugerir ao usuário como manipular (e como não manipular) um *token* associado;
- 2 - Limita o espaço de interação física do *token*;
- 3 - Serve como um quadro de referência para a interpretação de *token* e composições de restrição.

Um *constraints* é basicamente entendida como uma área física que delimita determinados comportamentos em relação às características dos *token*, algo como um campo de ação no qual eles estão ativos ou não. Esses comportamentos e a maneira

como cada informação digital é acessada através do *token* ou da *constraints*, uma em relação a outra, é chamada de variável.

LIT 04 As características do paradigma TAC também estabelecem premissas básicas de regras para o funcionamento adequado da relação entre os diversos *pyfo* (SHAER et al., 2004):

- **Acomplamento:** Um *pyfo* deve ser acoplado a uma variável para ser considerado um *token*.
- **Definição relativa:** Cada *pyfo* pode ser definido como um *token*, uma *constraints* ou ambos.
- **Associação:** Um novo TAC é criado quando um *token* é fisicamente associado a uma *constraints*. Novas restrições podem ser adicionadas a um TAC existente.
- **Interpretação Computacional:** A manipulação física de um TAC gera uma interpretação computacional.
- **Manipulação:** Cada TAC pode ser manipulado de forma discreta, contínua ou de ambas as formas. A manipulação física de um *token* é proporcionada pelas propriedades físicas de suas restrições.

A figura 23 ilustra uma mesa tangível com a aplicação do TAC dentro dos seus elementos de interação e mostra como esse *framework* pode facilitar a exemplificação dessas propriedades. No passo 1 temos cada um dos elementos físicos ainda como *pyfos* sem a aplicação de variáveis; no passo 2 ao largar o manipulável ele já se comporta como *token* sendo que o tampo da mesa nesse momento passa a delimitar o espaço físico de interação (*constraints*); já no passo 3 exemplifica-se largar outro elemento manipulável (*token*) no tampo da mesa, a qual em conjunto com o primeiro manipulador agora aplicam determinadas restrições de comportamento (*constraints*) ao segundo *pyfo* solto. Isso demonstra que cada elemento pode assumir determinadas condições desde que aplicadas as variáveis planejadas no projeto inicial de interação.

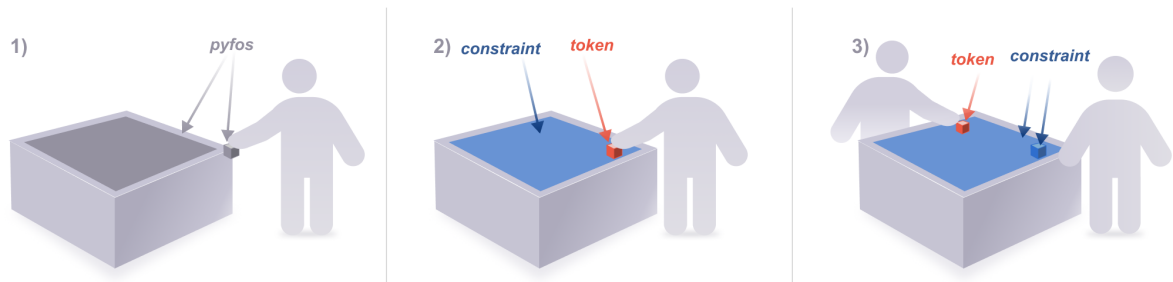


Figura 23 – Exemplos de comportamentos dos elementos de interação, segundo paradigma TAC, em uma mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

O paradigma TAC justamente baseia-se nessa noção de que uma TUI consiste em um conjunto de relacionamentos entre elementos, alguns dos quais são recursivos e/ou temporários. Esse paradigma proposto possibilita a interpretação de uma ampla variedade de TUIs e seu conjunto de construções geram possibilidades de especificações mais detalhadas.

3.2.2.3 **Framework sobre o espaço físico e a interação social**

Hornecker; Buur (2006) propuseram um *framework* que se concentra na experiência do usuário e na interação com a TUI como um todo, a partir dos aspectos físicos e sociais. **LIT 02** Essa estrutura proposta pelos autores tenta ampliar o entendimento sobre sistemas com interação tangível a partir de quatro temas e um conjunto de conceitos.

De modo descritivo os temas são:

- **Manipulação Tangível:** são as representações materiais dos objetos físicos com qualidades táteis distintas, que são normalmente manipuladas fisicamente numa interação tangível.

Manipulação direta háptica: os usuários podem agarrar, sentir e mover “os elementos importantes”?

Interação Leve: Os usuários podem evoluir em pequenos passos experimentais? Há *feedback* rápido durante a interação?

Efeitos isomorfos: quão fácil é entender a relação entre as ações executadas e seus efeitos nos objetos?

- **Interação Espacial:** refere-se ao fato de que a interação tangível está incorporada no espaço real, portanto, a interação ocorre pelo movimento no espaço.

Espaço habitado: Pessoas e objetos se encontram? É um lugar significativo?

Materiais configuráveis: A mudança dos objetos (ou do seu próprio corpo) ao redor tem significado? Podemos configurar o espaço em tudo e apropriar-se dele ao fazê-lo?

Visibilidade não fragmentada: todos podem ver o que está acontecendo e seguir as referências visuais?

Interação de corpo inteiro: você pode usar todo o seu corpo?

Ação Performativa: Você pode comunicar algo através do movimento do seu corpo enquanto o está fazendo?

- **Facilitação Incorporada:** destaca como a configuração de objetos materiais e do espaço entre eles afeta e direciona o comportamento do grupo.

Restrições incorporadas: a configuração física dos objetos e do espaço leva os usuários a colaborar restringindo particularidades no seu comportamento?

Vários pontos de acesso: todos os usuários podem ver o que está acontecendo

e colocar as mãos nos objetos centrais de interesse?

Representação sob medida: a representação se baseia na experiência dos usuários? Ele se conecta com suas habilidades, convidando-os para a interação?

- **Representação Expressiva:** se concentra no material e representações digitais empregadas por sistemas de interação tangíveis, sua expressividade e legibilidade.

Significado representacional: São representações significativas? São representações físicas e representações digitais com a mesma importância?

Externalização: Os usuários podem pensar e conversar com ou através dos objetos, usando-os como adereços para atuar? Esses objetos possibilitam um foco e fornecem um registro das decisões?

Acoplamento Percebido: Existe uma ligação clara entre o que você quer fazer e o que acontece? São representações físicas e digitais naturalmente acopladas?

Para ilustrar melhor a compreensão desses conceitos contidos no *framework* os autores produziram a Figura 24.



Figura 24 – *Framework* sobre o espaço físico e a interação social Fonte: Autor (2022) adaptado de Hornecker; Buur (2006)

Através desses três exemplos significativos de *frameworks*, pode-se perceber que existem relações entre eles, sendo que um pode ser perfeitamente aplicável em conjunto com os demais. Eles são as principais referências iniciais de discussão sobre TUIs e ainda contribuem para evolução e criação de novas estruturas.

Existem uma série de outros *frameworks* que são bem mais específicos (com um nicho determinado) a aplicação final a que se destina e que podemos citar:

- Antle (2007) propuseram o *framework* CTI (*The Child Tangible Interaction*) cujo objetivo é dar orientações para criação de atividades para crianças com uso da interação tangível.

- Bellotti et al. (2002) criaram uma estrutura que sugere cinco perguntas que um usuário deve conseguir responder para saber como se comunicar com um sistema que utilize sensoriamento.
- Fishkin (2004) apresenta uma taxonomia baseada num espectro para categorizar sistemas tangíveis conforme o nível de corporificação e metáfora que eles fornecem. Ele sugere que esta abordagem fornece uma visão mais ampla de sistemas tangíveis, podendo assim unificar *frameworks* anteriores.
- Koleva et al. (2003) descrevem um *framework* que foca nos links entre objetos físicos e digitais, e as propriedades desses links, que representam a faceta de interações. Seu “nível de coerência” representa até que ponto os objetos físicos e digitais vinculados são percebidos como sendo o mesmo.

Esses são apenas alguns exemplos, entre outros, retratados no trabalho de Mazalek; Van den hoven (2009). Contudo, nenhuma dessas estruturas mapeadas é sobre mesas tangíveis, apesar de várias delas utilizarem conceitos aplicáveis a esse dispositivo, principalmente no que diz respeito a relação dos objetos físicos no espaço do tampo da mesa.

3.2.3 Avaliação em interfaces tangíveis

Se as características e a forma de interagir com uma aplicação TUI diferem do que com uma GUI, infere-se que os métodos de avaliação utilizados de forma regular atualmente para interfaces gráficas podem não se adequar totalmente para a avaliação de uma aplicação tangível.

Como um dos resultados relacionados a essa Tese, desenvolveu-se uma RSL específica para o entendimento dos processos de avaliação aplicados a interfaces tangíveis (**Apêndice B - Methodologies and Evaluation Tools Used in Tangible User Interfaces: A Systematic Literature Review**). Essa RSL resultou no artigo de Costa et al. (2018) (Anexo B), o qual apresenta uma discussão ampla sobre avaliação em interfaces tangíveis e traça algumas conclusões, através da análise de 50 artigos que utilizam metodologias e/ou ferramentas de avaliação em aplicações numa TUI.

A maioria dos artigos utilizou a abordagem focada em usabilidade, como base das avaliações. Com isso verificou-se o funcionamento da tecnologia, tal como projetado, avaliando sua eficiência/eficácia no envolvimento direto com o usuário. Já a UX foi a segunda abordagem mais utilizada e está ligada não somente a facilidade de uso de uma interface, mas também engloba as percepções e sentimentos dos usuários diante do seu relacionamento com um sistema computacional. Vários artigos usaram ambas abordagens como complementares, onde usabilidade assume um campo mais quantitativo de eficiência e UX para análises qualitativas.

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

Na maioria dos artigos não se aplicou somente uma ferramenta única de avaliação em uma abordagem definida. Buscou-se sempre o uso de mais de um instrumento avaliativo, de modo a complementar ou dar mais segurança aos resultados gerados. Essa utilização de mais de uma abordagem evidencia a preocupação maior de não ter só o olhar da eficiência da aplicação, ou 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 permitem a colaboração dos usuários durante o próprio processo de avaliação, como o Grupo Focal, por exemplo.

LIT 02 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 foi refletida em nenhum dos processos/instrumentos de avaliação utilizados nas aplicações. Alguns artigos traçaram breves observações sobre alguns pontos tais como: altura dos elementos para alcance das mãos dos usuários, disposição e iluminação do ambiente, design dos elementos e uso de materiais mais adequados para aquele tipo de interação, etc., contudo, nenhuma avaliação considerou essas particularidades ou como a alteração delas pode impactar no processo geral.

O perfil de público alvo dos usuários que foram envolvidos nos testes com TUIs impactou diretamente nos instrumentos ou técnicas que foram 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 TUIs. 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). 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 após o uso da TUI.

Essas conclusões elencadas confirmam a necessidade do uso de técnicas de avaliação mais aderentes as particularidades envolvidas na interação com TUI, ou, no mínimo, adaptação das existentes para contemplar a dinâmica da interação tangível.

3.2.4 Considerações sobre as TUIs

Algumas considerações sobre interfaces tangíveis no domínio de desenvolvimento dessa Tese:

- O uso de uma TUI possibilita uma experiência mais rica de interação, na medida que explora várias percepções sensoriais dos usuários, sua consciência física de mexer com objetos "reais", sua capacidade de entender seu entorno e de se relacionar com outras pessoas nesse espaço (item 3.2.1);
- Apesar das aparentes qualidades de aplicação do uso de uma TUI, ainda existem diversos desafios para consolidação de uso desse tipo de interface em ações do nosso cotidiano. Interfaces gráficas tendem ser mais flexíveis a diversos usos, enquanto uma interface tangível surge num determinado contexto e normalmente não consegue ser adaptável a outro (itens 1.1 e 3.2.1);
- Grande parte das aplicações que usam interação tangível envolvendo pesquisas nos últimos anos apresenta soluções que estão conectadas a dispositivos protótipos únicos. Os principais usos dessas TUI são justamente possibilitar uma interação compartilhada e colaborativa, além de explorar a capacidade sensorial de interagir com objetos físicos que também contém dados digitais;
- Os principais *frameworks* existentes que se relacionam a TUIs são teóricos e tentam fundamentar os níveis de relação entre os objetos físicos e como eles incorporam os dados digitais;
- Qualquer processo de prescrição de uma abordagem avaliativa, de qualquer tipo de interface, deve considerar o contexto de uso, perfil de usuários, etc. Contudo, uma das conclusões citadas em Costa et al. (2018) é que nenhum dos artigos selecionados naquela RSL propôs alguma ferramenta específica de avaliação que considerasse as características mais gerais do processo de interação com TUIs, tampouco adaptações das ferramentas existentes foram desenvolvidas segundo outros critérios.

3.3 Discussão

O objetivo dessa seção é discutir o arcabouço teórico da tese e consolidar os achados dos primeiros indícios para construção das diretrizes projetuais do *framework* DI-META.

Ao investigar os conceitos e características dos pilares fundamentais dessa Tese (design de interação e interfaces tangíveis do usuário) têm-se delimitado o espaço de teoria nessa pesquisa. Esse trabalho trata justamente sobre um tipo de interação (interação tangível), possibilitada por um estilo de interface (interface tangível do usuário)

suportada por vários dispositivos, sendo um deles a mesa tangível (dispositivo base para essa Tese).

Pode-se constatar que todos os *frameworks* projetuais apresentados na seção 3.1.2 (Processos e abordagens projetuais para design de interação) podem ser aplicados no contexto específico de uso de uma mesa tangível. Contudo, nenhuma dessas metodologias apresenta considerações mais específicas relacionadas as especificidades da interação tangível e muito menos das características do dispositivo mesa tangível.

Já os *frameworks* inicialmente desenvolvidos para TUIs especificamente (seção 3.2.2 - *Frameworks* de interfaces tangíveis do usuário) dão base conceitual para as pesquisas e exploração das possibilidades no seu uso de um modo amplo. Os resultados encontrados na RSL focada em mesas tangíveis, desenvolvida em conjunto com a Tese (ver mais detalhes no Capítulo 4), apontam na direção para a criação de estruturas mais focadas na implementação e na discussão de processos de interação. Isso indica que, à medida que o campo amadurece gradualmente, os componentes centrais da interação tangível (interações e fisicalidade) estão gradualmente fornecendo a base necessária para mover a pesquisa para contextos mais específicos (objetivo desse trabalho).

Com relação aos itens sinalizados nesse capítulo como evidências teóricas para criação de diretrizes projetuais de design de interação em mesas tangíveis:

- **LIT 01** Uma TUI permite a manipulação de diferentes objetos que possibilitam diversas ações, sem uma ordem definida. O design dos objetos manipuláveis na interface orienta o usuário como interagir e qual objeto serve para qual ação.
- **LIT 02** Interação tangível está além da manipulação com uso do corpo de objetos físicos/digitais, há que se considerar as características e expressividade desses manipuladores, o espaço do entorno no qual a interface está inserida e a habilidade social que permite de interação de diversos usuários simultaneamente.
- **LIT 03** Representação físicas possibilitam o controle da interação e estão diretamente relacionadas a natureza das informações digitais, assumindo por vezes suas características.
- **LIT 04** Os objetos físicos que controlam a interação (*pyfo*) tem suas características definidas como informação digital (*token*) em uma área física (espaço) de interação (*constraint*), possibilitando um arranjo para melhor organização das ações num dado tempo.

O próximo **Capítulo 4 - Mesas tangíveis** apresenta o dispositivo base para interação tangível no qual essa pesquisa foi desenvolvida.

4 MESAS TANGÍVEIS

Esse capítulo tem por objetivo apresentar o que é uma mesa tangível, suas características (Item. 4.1); como funciona a interação com esse dispositivo (Item 4.2); o estado da arte (Item 4.3) e suas tecnologias de implementação (Item 4.4); uma análise dos *frameworks* disponíveis para mesas tangíveis (Item 4.5); as soluções de mercado e a visão dos especialistas (Itens 4.6 e 4.7), finalizando com as discussões sobre o conteúdo desse capítulo (Item 4.8).

4.1 Definição e características

A interação com a mesa tangível combina várias tecnologias de superfícies interativas multitoque com TUIs. Com o avanço das superfícies interativas e multitoque a terminologia tornou-se mais específica, interação com a "mesa interativa" referindo-se especificamente ao toque/multitoque ou interação baseada em caneta. Já com o surgimento de diversos *toolkits* que permitem o reconhecimento de objetos por via computacional, com a possibilidade de entrada tangível, "mesa tangível" (*tangible tabletop*) surge como termo específico quando relacionamos interação tangível sobre uma superfície de uma mesa (SHAER; HORNECKER, 2010).

Uma mesa tangível nada mais é do que uma interface na qual a saída de dados do sistema é exibida ou projetada sobre a superfície superior desse artefato, ou sobre objetos físicos que podem ser posicionados ou manipulados para executar as interações, atuando como controles sobre a mesa (*inputs*).

Essas mesas tanto podem ser um produto comercial (ver mais detalhes no Item 4.6) como podem ser produzidas a partir de tecnologias de fácil disponibilidade (ver mais detalhes no Item 4.4). Uma mesa de madeira com tampo de acrílico, no qual pode-se projetar imagens com um projetor convencional através de um espelho, na qual um software de visão computacional faz o rastreamento e identificação de objetos e seus posicionamentos, já é uma alternativa para produção de uma *tangible tabletop*.

Os objetos identificados pela mesa tangível são comumente chamados de "*tokens*" sendo identificados por diversas técnicas computacionais. Conforme explicita Appert

et al. (2018) existem vários tipos de *tokens* que são incorporados as aplicações para mesas tangíveis:

- ***Tokens* passivos:** utilizam anexados a sua superfície alguma representação que seja possível de ser rastreada através dos algoritmos de visão computacional. Exigem calibração e condições ambientais controladas para uma boa manipulação.
- ***Tokens* ativos:** são objetos equipados com algum tipo sensor identificável, às vezes com uma tela independente. São programáveis, podem ser montados juntos para criar objetos maiores, personalizáveis para qualquer tipo de aplicação.
- ***Tokens* magnéticos:** incorporam um ímã que é detectado, via algoritmo específico. Embora essa abordagem permita interações precisas, requer o aumento da superfície com sensores para redução de possíveis ruídos com outros dispositivos.
- ***Tokens* capacitivos:** podem ser telas capacitivas multitoque que podem ser usadas como *tokens* em mesas interativos. A abordagem consiste em construir um manipulador tangível que cria um circuito condutor entre os dedos dos usuários e a superfície capacitiva da mesa. Amplia as possibilidades de interação assim como necessidade de processamento computacional.

LIT 05 O tipo de *token* utilizado na mesa potencializa ou delimita determinadas ações que podem ser executadas e interpretadas pelo sistema. Um *token* ativo pode por proximidade já gerar retornos no tampo da mesa, além de possibilitar *feedbacks* sonoro e visuais nele mesmo, por exemplo. Já um *token* passivo pode ser qualquer objeto com o fiducial anexado a ele, porém só é interpretado ao ser solto sobre a mesa tangível.

Como exemplo de diferentes abordagens dos *token* e seus usos no processo de interação apresentam-se os trabalhos Arif et al. (2016) e De croon et al. (2017).

O primeiro utiliza um *smartwacht* (Figura 25) para construção customizadas de um *token* ativo, porém também utiliza fiduciais para rastreamento por visão computacional. Já o *token* utilizado em De croon et al. (2017) é um objeto comum do cotidiano das pessoas: caixas de medicamentos. Foi desenvolvido um protótipo (Figura 27) visando aumentar as capacidades dos idosos compreenderem sozinhos como administrar suas medicações de uso diário. Através do uso de CV, câmeras na parte superior da mesa reconhecem a caixa do medicamento sobre a mesa e um projetor dá *feedback* visual na superfície do tampo, com horários e quantidades de dosagem a serem administradas.



Figura 25 – *Token* que conjuga sensores embarcados no *smartwatch* com o reconhecimento por visão computacional e sensores para *feedback* em leds. Fonte: Arif et al. (2016)

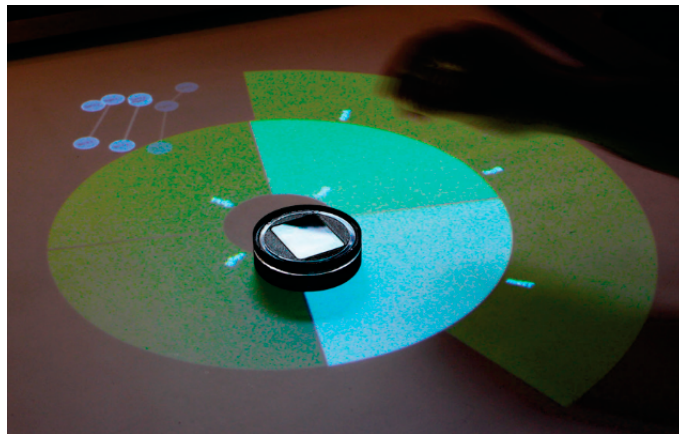


Figura 26 – Visualização da rede de genes em gráficos manipulados pelos *tokens* ativos. Fonte: Arif et al. (2016)

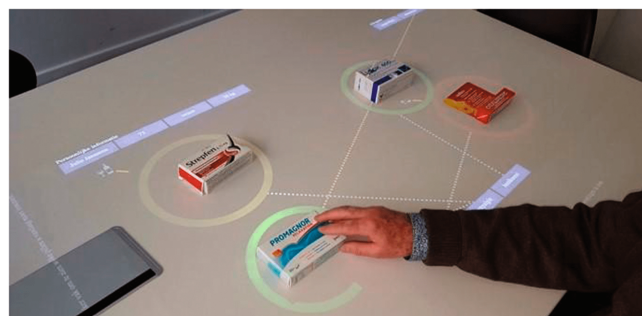


Figura 27 – Visão de interação do design final com as caixas de medicamentos em cima da mesa, as quais são reconhecidas por CV e disponibilizam as informações projetando-as em torno das caixas. Fonte: De croon et al. (2017)

4.2 Design de interação em mesas tangíveis

LIT 03, 04 e 06 Os *tokens* são a principal base de interação com a mesa tangível, pois são os objetos que podem diretamente manipular os dados computacionais na busca de *feedbacks* do sistema computacional, seja na área de superfície de mesa ou no próprio objeto físico. Na figura 28 ilustra-se um esquema das maneiras com que um usuário pode manipular um *token* passivo em relação a área de superfície do tampo da mesa tangível.

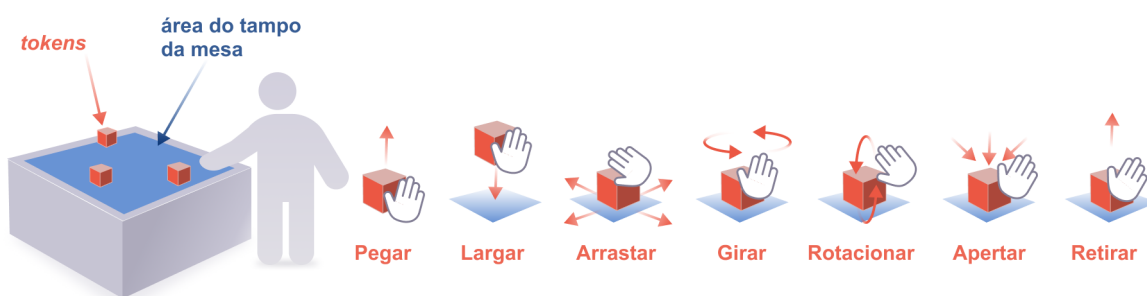


Figura 28 – Tipos de interações/movimentos possíveis entre *tokens* passivos em relação a mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

LIT 04 e 07 Com relação ao tampo da mesa, ela funciona como superfície que delimita a área de interação dos objetos, um em relação aos outros, e configura o modo como os usuários também se posicionam ao redor do espaço e interagem entre si. Nesse ponto algumas características de configuração com relação à interação na mesa são identificadas como delimitadoras da experiência de uso, ilustradas na Figura 29 e descritas a seguir.

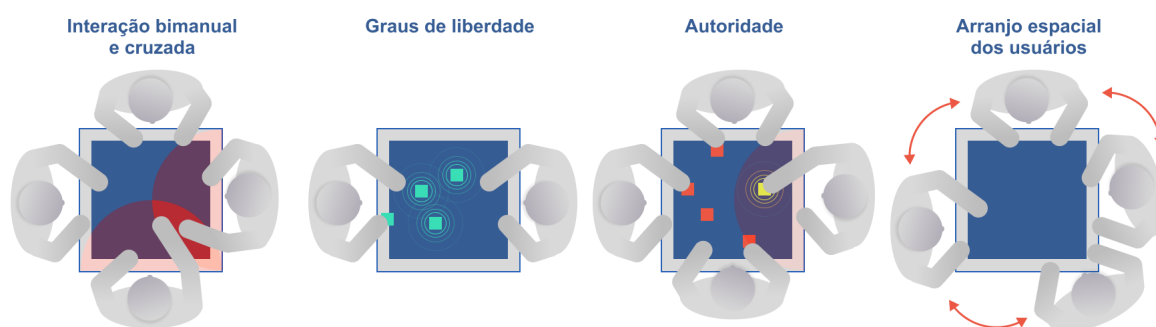


Figura 29 – Características de interação dos usuários no espaço da mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

4.2.1 Interação bimanual e cruzada

Grande parte dos estudos sobre interação com duas mãos se origina das pesquisas com superfícies multitoque. Contudo, Hinckley et al. (1997) já indicava que a

verdadeira manipulação em objetos tridimensionais é que geraria vantagens nessa interação bimanual, pois certas ações são impossíveis sem a terceira dimensão de uma superfície.

Os estudos sobre a consciência motora envolvida nesse tipo de interação estão no estudo da cadeia cinemática de Guiard (1987), o qual conclui que as duas mãos são usadas de forma assimétrica e complementar, com a mão não dominante muitas vezes estabelecendo um quadro de referência. Hinckley et al. (1997) discorre que a mão não dominante não é apenas uma aproximação pobre da mão dominante, mas pode trazer capacidades de "manipulação fina" para uma tarefa, especialmente quando atua em conjunto com a mão dominante. Muitas vezes, a mão não dominante age em antecipação de apoio às ações da outra mão.

Enquanto os primeiros estudos de IHC sobre interação bimanual viam a entrada com as duas mãos como uma técnica para realizar duas subtarefas em paralelo, estudos posteriores mostraram que a interação bimanual fornece benefícios no contexto de manipulações tangíveis especialmente (SHAER; HORNECKER, 2010).

LIT 08 Compreender a estrutura da manipulação com as duas mãos (bimanual) é importante para definir tarefas e atividades a serem executadas na mesa tangível. A manipulação dos *tokens* sobre a mesa pode acontecer por vários usuários simultaneamente, e utilizando ambas mãos. Paralelizar certas interações usando as duas mãos simultaneamente mostrou melhorar o desempenho, sem aumentar significativamente a carga cognitiva. Duas mãos juntas fornecem ao usuário informações que uma mão sozinha não (YAMAGAMI et al., 2022).

LIT 09 Outro aspecto a complexificar a relação da interação bimanual sobre a mesa tangível é a possibilidade de uso por várias pessoas simultaneamente. Isso pode causar zonas ou regiões de trabalho com sobreposição, com interação cruzada (braços e mãos de uns usuários colidirem sobre os dos demais) com possíveis interferências na realização de tarefas (TANG et al., 2006). Esse gerenciamento de interferências causa implicações para o design de interação de aplicativos nesse contexto de interface compartilhada ou manipulação individual no mesmo espaço.

4.2.2 Graus de liberdade

Diz respeito a quantidade de manipuladores tangíveis ou usuários envolvidos na interação sobre a mesa. Cada *token* inserido na aplicação ou usuário a mais confere mais um grau de liberdade (*degrees of freedom* - DOF), pois é um elemento a mais de possibilidade na interação, o qual vai determinar comportamentos em relação aos outros manipuladores/usuários em relação ao tampo da mesa.

LIT 10 Como já comentado na introdução da Tese, um dos desafios de projetar com interações tangíveis é o entendimento de que a natureza do objeto físico não define por si só seu comportamento. Cada um desses DOF, o espaço no qual estão

colocados e a relação deles entre si pode alterar seus comportamentos de uso e as ações que podem ser executadas com eles. Além disso, por característica, a interação com a mesa tangível e seus DOF é contínua e distribuída em vários usuários (além de potencialmente bimanual) que podem fazer tarefas ao mesmo tempo.

LIT 11 Veit; Capobianco; Bechmann (2009) discutem a manipulação dos graus de liberdade e o quanto esse fator pode ter um impacto significativo no desempenho dos usuários durante a realização de tarefas. Embora o artigo se concentre em ambientes virtuais, suas conclusões baseadas em experimentos sugerem que a redução de graus de liberdade pode melhorar a performance em tarefas mais simples, enquanto a adição de graus de liberdade pode melhorar o desempenho em tarefas mais complexas. Essa constatação reforça a orientação dada por Manshaei et al. (2019), a qual sugere oferecer uma quantidade limitada de DOF que podem ser atribuídos a diferentes funções segundo o contexto, proporcionando aos usuários uma sensação maior de controle.

4.2.3 Autoridade

Sistemas não lineares e colaborativos podem gerar concorrência durante o processo de interação quando vários usuários, ao mesmo tempo, tentam fazer tarefas que competem entre si (BONILLO; ROMÃO; CERESO, 2019).

LIT 12 Mesas tangíveis, justamente por permitirem múltiplas entradas de dados com vários usuários atuando simultaneamente, devem através de suas aplicações mediar as relações entre os usuários-usuários como também entre usuários-sistema, através da definição de papéis de autoridade em cada momento da interação (KAYA et al., 2018a).

Outro aspecto relevante quando vários usuários estão trabalhando simultaneamente na mesa tangível, usando vários *tokens* (DOF), é identificar qual entrada pertence a qual usuário. Essa identificação de usuário também impacta o design de interação na medida que deve-se atribuir quais elementos de interface a determinado usuário quando ele está fazendo determinadas tarefas, de modo a identificar o que cada um está fazendo e se detém autoridade sobre os demais usuários (REMY et al., 2010).

4.2.4 Arranjo espacial dos usuários

A disposição espacial das pessoas ao redor da mesa também impacta a maneira como elas interagem com o sistema, mas principalmente, umas em relação as outras. Isso está relacionado a todas as características anteriores já citadas como também gera certas premissas projetuais para o designer de interação quanto orientação e distribuição de tarefas no espaço do tempo da mesa.

O trabalho desenvolvido em Tang et al. (2006) discute justamente o projeto de

interfaces colaborativas em mesas tangíveis e em como os grupos se coordenam para executar as ações sobre elas. Baseados em estudos observacionais de pares de usuários que deveriam completar tarefas independentes e compartilhadas, foram identificados alguns arranjos e os impactos deles no processo de interação (Figura 30).

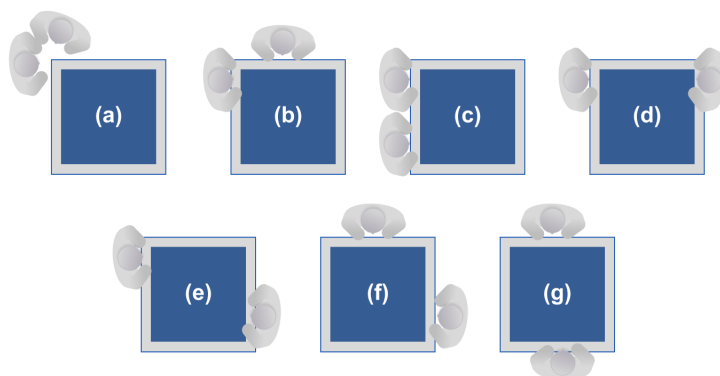


Figura 30 – Disposição dos usuários ao redor da mesa tangível. Fonte: Autor(2022) baseado em Tang et al. (2006)

Esse estudo codificou sete arranjos de posição ao redor da mesa (com base nas posições relativas): (a) juntos, (b) no canto, (c) lado a lado, (d) em linha reta, (e) opostos transversalmente, (f) lados da extremidade e (g) extremidades opostas.

LIT 13 Esse posicionamento físico, segundo os autores, parece estar relacionado com o comportamento territorial. Usuários individualistas tendiam a interagir explicitamente apenas com áreas fisicamente próximas a eles, evitando interagir com áreas fisicamente próximas ao seu parceiro (uma exceção é mostrada na Figura 30 a). Outra observação acerca desses arranjos é que esses “territórios” eram transitórios. À medida que os usuários se deslocavam, os outros não estavam mais impedidos de operar naquela área. Da mesma forma, quando um par trabalhou em conjunto em um mesmo problema, muitas vezes observamos uma pessoa assumindo a perspectiva do outro.

Também percebeu-se interação cruzada nesse estudo, onde um colaborador bloqueou a visão de outro ou a capacidade de interagir fisicamente com o espaço de trabalho. Essa interferência foi menos frequente e tratada de forma melhor, com uma pessoa saindo do caminho assim que outro se moveu em direção aquele espaço. Quando os usuários trabalharam distantes um do outro, mais frequentes as sinalizações (verbais ou gestuais) de um para o outro, em alguns casos, empurrando ou agarrando fisicamente mutualmente.

Com base nas definições gerais do que é uma mesa tangível e características de interação, desenvolveu-se uma revisão de literatura para busca de diretrizes ou indicações projetuais que a teoria já tinha consolidado. Além disso, definições de tecnologia de implementação e elementos gerais de uso puderam ser analisados.

4.3 Estado da Arte sobre mesas tangíveis

Foi desenvolvida uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com o objetivo de definir o estado da arte sobre o desenvolvimento de aplicações que utilizem interface tangível do usuário em mesa. A RSL é um método que serve como base para a delimitação de análise do estado da arte de um determinado campo do conhecimento. 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 (PETERSEN et al., 2008).

As principais etapas previstas pela metodologia da RSL são:

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

Para catalogação e organização das referências dessa RSL utilizou-se como ferramenta a plataforma online Parsifal ¹, projetada para apoiar pesquisadores na realização de RSL. Pesquisadores distribuídos geograficamente podem trabalhar juntos em um espaço de trabalho compartilhado, projetando o protocolo e conduzindo a pesquisa (KEELE et al., 2007).

Todo o protocolo e os resultados da extração e mapeamento dos dados dessa RSL estão contidos no **Apêndice A - Protocolo de RSL sobre o projeto, implementação e avaliação de interfaces tangíveis em mesas**. Esse protocolo, aplicado nos engenhos de busca acadêmicos e eventos selecionados, apresentou como resultado bruto **1.256 referências bibliográficas**, as quais foram recuperadas e armazenadas na ferramenta Parsifal.

Após o primeiro filtro de seleção inicial, a quantidade ficou em **79 artigos**. Com o segundo ciclo de filtragem (etapa de avaliação de qualidade) foi possível identificar e caracterizar os trabalhos dentro do eixo principal previamente estabelecido, eliminando artigos sem contribuições gerais, mas que tivessem sido aceitos durante o primeiro filtro individual de cada pesquisador. Desse modo, o conjunto final elencado nessa RSL compreende o total de **53 artigos**.

Em torno de 93% dos artigos foram desconsiderados (1095 artigos) pois apresentavam algum tipo de teste ou validação de implementação de aplicativos que não estão

¹Disponível em: <https://parsif.al/>

relacionados as mesas tangíveis. Com o uso das palavras-chave *tabletop* e *interactive surface* vários artigos que exclusivamente trabalhavam com mesas *multitouch*, ou até dispositivos como *tablets* (sem uso algum de qualquer característica de interação tangível) surgiram no resultado inicial da busca.

Cabe aqui nessa seção uma discussão sobre as questões de pesquisa definidas no protocolo da RSL e a busca por respostas através da leitura completa dos artigos finais selecionados.

(a) Como são essas aplicações na mesa tangível? Protótipos ou versões disponíveis ao mercado? Qual seu objetivo final, área de aplicação, como se dava a interação, perfil de usuário, contexto?

Do total de *53 artigos finais* selecionados para fase de extração dessa RSL, **50** são **protótipos**, ou seja, são apenas aplicações que estão num contexto específico do experimento e não foram replicadas em outros locais ou cenários.

A totalidade dos artigos desenvolveu sua aplicação para uso dentro de ambientes fechados (laboratórios, museus, salas de aula) com controle dos fatores de circulação e exposição das pessoas as mesas tangíveis (iluminação e temperatura, por exemplo).

LIT 14 Nenhum dos experimentos e avaliações ocorreu em ambiente aberto, provavelmente por considerar o equipamento envolvido sensível, não portátil e também ter um contexto de uso específico.

Os contextos de uso (áreas das aplicações desenvolvidas) desses artigos se encontra na Figura 31, na qual pode-se perceber que grande esforço das pesquisas estão direcionados a área da educação e visualização e manipulação de mapas.

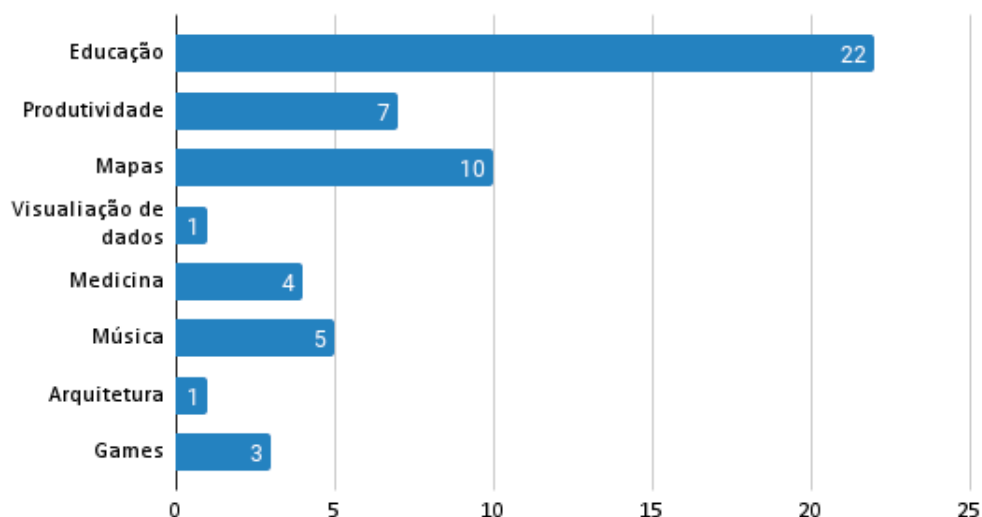


Figura 31 – Distribuição das áreas das aplicações desenvolvidas na RSL. Fonte: Autor (2021)

Dentro desses **22 artigos** que focam na **área de educação**, pode-se listar diversos contextos de ensino em campos do conhecimento como: biologia (MANSHAEI et al., 2019), matemática (VELDHUIS; LIANG; BEKKER, 2020), lógica/programação (RAF-

FAELE; SMITH; GEMIKONAKLI, 2018) e como recurso educativo terapêutico (PAPADAKI et al., 2018).

Vários são os benefícios listados por todos esses artigos com relação ao uso de interfaces tangíveis (utilização da consciência espacial e corporal, aspectos lúdicos, estímulo a colaboração, entre outros) no desenvolvimento de atividades educacionais, sendo que a maioria dessas aplicações é destinada a crianças até 13 anos.

No contexto de **visualização e manipulação de mapas** são **10 artigos** relacionados e um direcionamento de pesquisas que apontam o uso da interação tangível num espaço de uma mesa como possibilidade de inclusão a pessoas com deficiência visual, como exemplificado em Du; Rit (2016). Nesse trabalho é apresentada uma proposta de representação tangível para criação e interpretação de mapas por pessoas cegas por conta própria por um *token* que gera instruções de áudio durante o processo de interação. (Figura 32).

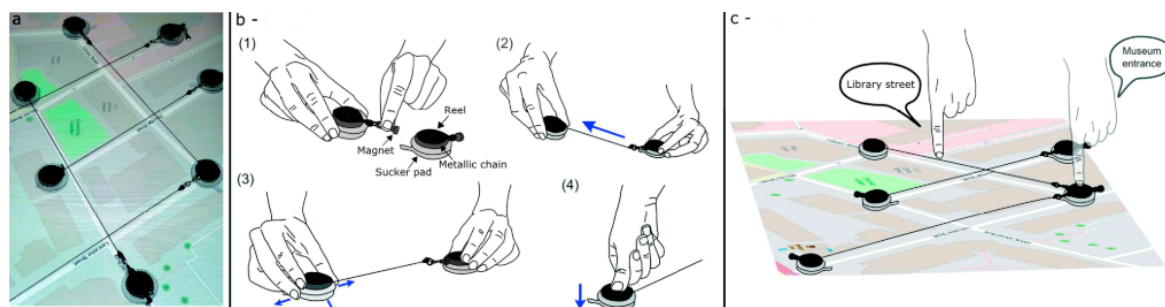


Figura 32 – *Storyboard* com processo de interação de pessoas com deficiência visual no uso do Tangible Reel na mesa tangível com um mapa que gera *feedback* sonoro. Fonte: Du; Rit (2016)

O processo de interação dos usuários com a mesa tangível ocorreram através do uso de *input* com uso e manipulação de *tokens* passivos e ativos e *feedbacks* gráfico/sonoro, em sua maioria. O uso de manipulação de *tokens* e de *multitouch* com o tampo da mesa também é observado em artigos alguns artigos, como em Ehlenz et al. (2018) que possibilita níveis de interação diversos em cada *input* dado usuário.

(b) **Qual tipo de metodologia foi usada para o design de interação dessa aplicação na mesa tangível?** Existe algum relato ou metodologia projetual citada? Utilizou algum *framework*? Envolveu os usuários no processo? Existem *guidelines*, recomendações ou diretrizes para o design dessas aplicações com uso de interfaces tangíveis numa mesa?

A grande maioria das aplicações da RSL (43 artigos) **não apresentou uma metodologia projetual declarada** no corpo do texto. Basicamente o que observou-se foram etapas projetuais diferentes entre eles, principalmente baseadas na Engenharia de Software, faltando clareza nas etapas cumpridas.

Alguns artigos apresentam um levantamento de requisitos mínimo com algum dia-

grama de arquitetura de implementação, porém a maioria desses parte do contexto de atuação da aplicação para a apresentação do mesmo, sem detalhar todo o processo de design.

Dos que declararam a metodologia **5 artigos** utilizaram a abordagem de **Design Centrado no Usuário**; **3 artigos** apresentam o **Research Through Design** conjugado com **Codesign** e **1 artigo** apenas com **Codesign** e outro com **Design Thinking**.

Apenas **12 artigos** apresentam **algum tipo de sugestão ou diretriz projetual** que possa ser considerada por outros designers de interação no processo de desenvolvimento de aplicações para *tangible tabletops*.

Os artigos que mais tiveram uma preocupação em demonstrar seu processo de design, geralmente são os que apresentam sugestões de forma mais clara, como resultado do processo e como um guia para outros designers de interação. **LIT 15** Como, por exemplo, em Manshaei et al. (2019) que elenca uma série de considerações a serem feitas no desenvolvimento de aplicações para mesas tangíveis com grande quantidade de informações. Conforme suas avaliações, os autores consideram que as opções de design importantes incluem:

- Oferecer uma pequena quantidade de DOF que podem ser atribuídos a diferentes funções conforme o contexto, pois parece ser um número suficiente para interações complexas, fornecendo aos usuários maior sensação de controle;
- Incluir dicas claras quando o usuário "navegar" entre diversas visualizações, distribuindo as informações em etapas claras que suportem a interação do usuário;
- Deixar claro que os manipuladores são os controles do processo de interação e fornecem a capacidade de alternar estados, com suporte para ação de múltiplos usuários;

Pode-se afirmar que todos os artigos que apresentam sugestões ou diretrizes projetuais tiveram processos de avaliações mais detalhados e envolveram usuários finais em alguma etapa do processo.

(c) **Houve algum processo de avaliação dessas aplicações?** Como foi feita a avaliação, quais abordagens, instrumentos e condições desse processo? Foi avaliada a aplicação, o dispositivo, alguma comparação entre tipos de interface?

De modo geral, a grande maioria das aplicações sofreu algum processo avaliativo envolvendo usuários. Mais de 94% dos artigos (**50 artigos**) apresentou e detalhou essa etapa.

Com relação aos usuários envolvidos, abordagens e instrumentos utilizados nas avaliações pode-se ter a seguinte análise:

- **Faixa etária:** Em torno de 21,6% das aplicações envolveu usuário de 25 a 39 anos; 19,6% de 14 a 24 anos e 15,7% com crianças com idade de 0 a 13 anos. Apenas 2% apresentaram aplicações (1 artigo) e testes com idosos (60 anos ou mais) e em torno de 40% não especificaram faixa etária envolvida nas avaliações.
- **Quantidade de usuários envolvida:** 34 artigos (64,2%) tiveram processos de avaliação com mais de 10 usuários envolvidos; 7 aplicações foram avaliadas entre 5 a 10 usuários; 6 artigos com até 5 usuários envolvidos e 3 não especificaram quantidade de pessoas envolvidas. Com maiores números de usuários envolvidos, a consistência dos resultados ganha relevância
- **Abordagem de avaliação:** Com relação às abordagens de avaliação, 26,5% dos trabalhos apresentaram avaliações focadas na usabilidade (realização de tarefas e funcionalidades), enquanto 18,4% avaliaram a UX. A conjugação dessas duas abordagens (usabilidade e UX) é aplicada em 14,3% como no artigo Mehta et al. (2016) que aplicou questionários de escala de usabilidade aliados a de satisfação e experiência de uso.
- **Instrumentos de avaliação:** Os principais instrumentos de avaliação envolvidos são o uso de questionários (38,6%), observação por especialistas (30%) e entrevistas (25,7%). Os tipos de questionário utilizados mensuram tanto aspectos de usabilidade, como, por exemplo, o Sistema de Escala de Usabilidade (*System Usability Scale - SUS*) criado por Brooke et al. (1996) e utilizado por Maquil et al. (2018), como também privilegiar o entendimento de UX como o questionário *AttrakDiff*² (HASSENZAHL; BURMESTER; KOLLER, 2003) utilizado em Riemann et al. (2017), o qual consiste em uma escala que utiliza 28 pares de adjetivos opostos (diferenciais semânticos);

Mesmo as TUIs não sendo mais um tipo de interface recente, ainda existem muitos estudos que buscam estabelecer essas comparações dos tipos de interação e efetividade comparando-a com outros tipos de UI. Como já descrito em Costa et al. (2018) os conceitos de Interação Baseada na Realidade (física intuitiva, consciência corporal, consciência ambiental e compreensão social) que caracterizam o uso da TUI são pouco ou quase não explorados nos processos avaliativos.

(d) **Como era essa mesa tangível?** Quais os modelos utilizados? Modelos comerciais ou protótipos? Quais os tipos de tecnologias utilizadas para construção das mesas tangíveis com essas aplicações?

Conforme apresentado na Figura 33 observa-se um uso considerável de mesas interativas tangíveis com soluções de mercado como: Microsoft Surface, PixelSense e

²www.attrakdiff.de

Samsung SUR40 e MultiTaction. A utilização desses dispositivos (produtos de prateleira) é ampla na medida que propiciam condições de maior produtividade aos desenvolvedores, com fornecimento de SDKs, por exemplo.

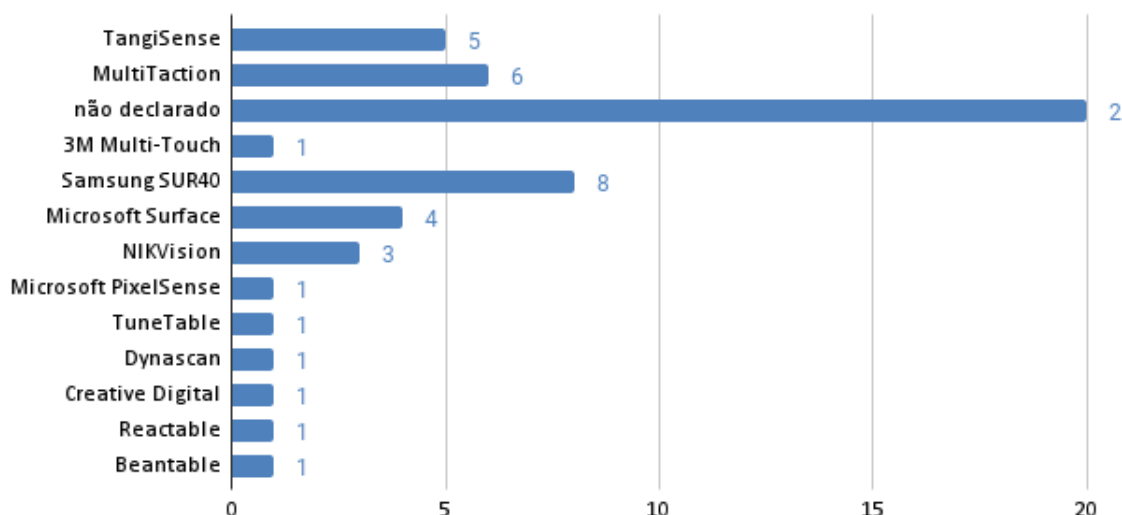


Figura 33 – Distribuição de modelos de mesas interativas tangíveis no desenvolvimento das aplicações listadas na RSL. Fonte: Autor(2021)

Outra característica nesses produtos é sua capacidade para reconhecimento de objetos soltos sobre sua superfície, seja por sensoreamento em *tokens* ativos (RFID, por exemplo) até de manipuladores tangíveis passivos (reconhecimento de uma imagem por infra-vermelho, por exemplo).

Contudo, mesmo com fornecimento de SDKs e APIs de desenvolvimento, não houve uma consolidação maior de aplicações que utilizam esses dispositivos como plataformas para TUI.

Outros modelos de *tangible tabletops* não são comercializáveis, contudo pode-se dizer que são de um determinado modelo, pois partem de um padrão construtivo específico de equipamentos e configurações. O modelo TangiSense é um exemplo disso, foi apresentado em Kubicki et al. (2009), sendo utilizado em Bouabid; Lepreux; Kolski (2016) e em outros 4 artigos.

Conforme pode-se ver na Figura 33 a maioria das aplicações não declara de forma textual o modelo ou tipo de *tangible tabletop* que utilizam com suas aplicações. Muitos desses artigos apresentam soluções customizadas de "baixo custo". Essas mesas tangíveis customizadas são criadas em diversas condições e necessidades.

Os produtos disponíveis no mercado são dispendiosos e nem sempre cumprem as necessidades específicas para uma determinada aplicação. Um exemplo desse

aspecto é o trabalho de Zidianakis et al. (2016) no qual a mesa é pensada no perfil de usuário (crianças até 8 anos), considerando sua altura e posição de uso.

LIT 05 Outro aspecto relevante são as configurações do uso dos *tokens*. Grande maioria das aplicações (36 artigos) utilizam tecnologias de visão computacional como o reactIVision para reconhecimento de *tokens* passivos. Um número menor de aplicações utiliza *tokens* ativos (11 artigos) e/ou conjugados com uso de *tokens* passivos, ativos e multitoque (9 artigos).

Alguns dos artigos apresentam em detalhes a construção do seu modelo de *token*, como, por exemplo, em Arif et al. (2016). Os autores partiram do princípio que construção de um manipulador ativo está diretamente relacionado ao projeto de design de interação pretendido. Esse *token* suporta interações dentro e fora da mesa. As interações na mesa utilizam multitoque e a posição desses manipuladores tangíveis ativos no tampo da mesa. As interações fora da mesa utilizam o multitoque na tela do manipulador e também ações como empilhar e sacudir, utilizando o sensor inercial do *smartwatch*.

Com a leitura completa dos **53 artigos finais** do processo de extração de dados do protocolo dessa RSL, algumas observações devem ser consideradas:

- Existe uma gama diversa de áreas de uso das aplicações nas mesas tangíveis (educação, visualização de dados, medicina, etc), faixas etárias que foram consideradas no perfil de usuário, porém a totalidade dos artigos tem soluções criadas para contextos específicos, com fatores controlados em laboratórios ou espaços fechados (como museus).
- Diferentemente da GUI que é uma interface adaptável a diversos contextos, pois aceita diversos tipos de dados, as mesas tangíveis que utilizam TUI ainda estão muito ligadas a contextos mais específicos. Observa-se que cada aplicação é muito relacionada aquela mesa e aos *tokens* (dispositivo) que são os disponíveis para uso.
- Embora as tecnologias estejam evoluindo para melhor disponibilidade dessas superfícies tangíveis em vários contextos, as soluções, que ainda na maioria dependem da visão computacional para o reconhecimento de objetos, condicionam um controle maior dos fatores externos, como iluminação, por exemplo. Desse modo, é possível considerar que os fatores ambientais tanto são definidos pelo contexto dos usuários ao redor da mesa, como pela tecnologia utilizada nas mesas tangíveis até o momento.
- Apesar de uma grande parte dos artigos utilizar mesas tangíveis comerciais, justificada pela facilidade de uso e reuso de SDKs proprietárias para implementação, nenhum desses fabricantes disponibiliza um repositório de aplicações para

outros usuários que porventura queiram utilizá-las. Isso fica claro se considerarmos que quase totalidade das aplicações são protótipos únicos.

- Existe uma farta e detalhada documentação sobre cada um dos modelos comerciais e suas APIs, porém nenhuma delas disponibiliza qualquer padrão de design para desenvolvimento de aplicações. **LIT 16** Nos artigos da RSL poucos são os artigos que fazem considerações sobre alguns aspectos tais como: altura dos elementos para alcance das mãos dos usuários, disposição e iluminação do ambiente, design dos *tokens* e uso de materiais mais adequados para esse ou aquela interação, etc.
- Nos artigos relacionados, diversos tipos de interação feitos com os *tokens* servem apenas como um apontador e outras como um dispositivo computacional que pode também gerar informação. Existe uma profusão de possíveis soluções para os *tokens*, sendo eles definidos muito segundo as necessidades de camadas de interação com a mesa tangível. Justamente o surgimento de *frameworks* de implementação para *output* de dados na mesa/*token* como o TUIO (KALTENBRUNNER et al., 2005), e de CV como o reactIVision (KALTENBRUNNER, 2009) abriram a possibilidade de escala com diversas personalizações de tipos de mesas tangíveis bem como de qualquer objeto físico ser um *token*.
- Com relação a interações multimodais, um pequeno número de artigos utiliza esse recurso de forma satisfatória. A maioria dos artigos trabalha basicamente com a entrada de dados através do *token* e da mesa com o *output* reduzido a representações visuais. Aproveita-se pouco os retornos hápticos e sonoros, na maioria, pelo uso de manipuladores passivos.
- Percebe-se uma relação, já relatada pelos teóricos/pesquisadores da área de IHC (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013), no uso de TUI como possível alternativa de acessibilidade para pessoas com deficiência visual. Alguns dos artigos de visualização de dados (matemáticos, estatísticos) e mapas potencializa o uso da manipulação de objetos tangíveis com as capacidades disponíveis por pessoas com esse contexto de uso. **LIT 16** Contudo nenhum dos 53 artigos, nem mesmo esses orientados a deficiência visual, considera aspectos de acessibilidade a pessoas com deficiência motora (cadeirante), por exemplo. Se considerarmos que grande parte das aplicações são de cunho educacional e outras como fontes de imersão em museus, há necessidade de considerar acessibilidade.
- Apesar de os instrumentos de avaliação não terem uma adaptação orientada as características específicas das TUIs, os processos avaliativos foram aplicados

quase na totalidade das aplicações. O uso de questionários conjugado as observações dos especialistas valida os resultados na medida que, se os instrumentos não estão adaptados a essa UI, as observações qualificam o desenvolvimento dessas aplicações, trazendo discussões acerca dos resultados obtidos.

- Vários dos *frameworks* conceituais (como o TAC, MCRpd, de espaço físico e interação social) que caracterizam o uso da TUIs são explorados nos projetos listados, mas não são categorizados como um processo estruturado no desenvolvimento e avaliação das aplicações em mesas tangíveis. **LIT 02** Se por um lado um determinado artigo pensa em aspectos de colaboração e como sua aplicação pode estimular isso, esse mesmo não considera o entorno do espaço, tão pouco o movimento dos usuários no uso daquele espaço (KAYA et al., 2018b), evidenciando uma falta de clareza sobre qual melhor modo de projetar nessa UI.
- Apesar de alguns artigos listarem metodologias já consolidadas de design (como o DCU e o *design thinking*) não há um padrão projetual, tão pouco uma definição de uma lista mínima de requisitos que possa ser um ponto de partida para criação de uma aplicação em mesa tangível. Cada artigo apresenta o seu desenvolvimento e entre os artigos existem comportamentos bem díspares na atenção dada com a etapa de criação da aplicação.
- **LIT 08, 09, 10 e 11** Nenhum dos artigos discute com profundidade características do design de interação mais específicos de uso da mesa tangível. Interação bimanual, autoridade, etc é por vezes citada, mas não problematizada no contexto de desenvolvimento da aplicação apresentada, citando apenas as referências bibliográficas que discutem com maior profundidade essas características.

Outro aspecto que não foi questionado nas perguntas do protocolo dessa RSL, mas observados pelos pesquisadores que leram os artigos selecionados, **LIT 17** foi a não observação de nenhum critério sanitário no uso ou manipulação dos espaços e dos objetos na experiência de interação com as *tangible tabletops*. Mesmo que o cenário atual de pandemia mundial tenha se configurado no ano de 2020 e o protocolo da RSL envolver um período mais extenso (2016 a 2021) as preocupações com higiene quando colocamos um usuário, ou um grupo de pessoas, para interagir com aplicações que envolvem o sentido do "tocar" em algo deveriam sempre existir.

4.4 Tecnologias de implementação

Existem uma série de desafios no processo de implementação de tecnologias com foco em interação tangível. Mesmo com toda a evolução de disponibilidade de sensores e várias outras tecnologias, a maneira como se estruturam as TUIs tornam as

soluções complexas e, geralmente, integram diversas funcionalidades que demandam a necessidade de um conhecimento maior de programação.

Esses desafios endereçados as TUIs, já discutidos na introdução desse Tese (ver mais detalhes no item 1.1): gerar conexões entre objetos físicos e digitais, múltiplas ações e comportamentos, sem dispositivos padrões I/O, falta de intercambiabilidade e portabilidade e interação, foram em parte minimizados com a padronização de certos arranjos nos dispositivos das mesas tangíveis.

Existem três grandes grupos de soluções tecnológicas para implementações em mesas tangíveis (SHAER; HORNECKER, 2010):

- **RFID:** é uma tecnologia baseada em radiofrequência que permite detectar a presença e a identidade de um determinado objeto quando está dentro do raio de alcance de um leitor. A maioria das mesas tangíveis baseadas em RFID emprega etiquetas de baixo custo passivas que consistem em duas partes: um leitor de etiquetas afixado a um dispositivo computacional e um conjunto de objetos "etiquetados". A comunicação entre uma etiqueta e um leitor ocorre apenas quando ambas estão próximas. A distância real varia conforme o *setup* de configuração do leitor e a força de campo da etiqueta RFID. Quando uma etiqueta é detectada, o leitor de etiquetas gera de identificação para o aplicativo que interpreta a sequência, determinando seu contexto e fornecendo o *feedback*.
- **Microcontroladores, sensores e atuadores:** os microcontroladores são pequenos computadores de baixo custo, que podem ser incorporados em um objeto ou ambiente físicos. Os microcontroladores recebem informações do mundo físico por uma rede de sensores e geram ações sobre esse ambiente com os atuadores. Existe uma grande variedade de sensores disponíveis para serem embarcados em microcontroladores, e podem captar variações de luz, cor, temperatura, aceleração, localização, presença, etc. Já os atuadores que geram *feedback* podem produzir luz, som, movimento, incluindo ações hápticas, LEDs, alto-falantes, etc.
- **Visão Computacional:** é a técnica mais utilizada envolvendo as mesas tangíveis, pois é especialmente indicada para detectar vários objetos em uma superfície em 2D em tempo real, fornecendo informações adicionais como posição, orientação, cor, tamanho e forma. Através de algoritmos e *toolkits* específicos, pode interpretar e rastrear marcadores fiduciais definidos simplesmente "anexados" a objetos físicos. Como os marcadores fiduciais são reconhecidos e rastreados de modo otimizado por um desenho de marcador específico, os sistemas baseados nessas abordagens tendem a ser mais robustos, mais precisos e mais econômicos em termos de custo computacional. As soluções baseadas em visão

computacional possibilitam a confecção de infraestruturas customizáveis e de fácil construção, pois utilizam tecnologias de alta disponibilidade e baixo custo. Requer pelo menos três componentes: uma câmera ou *webcam*; um projetor multimídia para fornecer gráficos em tempo real e um *toolkit* para visão computacional.

Shaer; Hornecker (2010) construíram um quadro (Tabela 2) com determinadas propriedades para comparação de tecnologias de implementação que ainda são válidas:

- Propriedades físicas detectadas: Quais propriedades físicas podem ser capturadas usando uma tecnologia particular?
- Custo financeiro: Qual é o custo relativo dos diferentes componentes compreendendo uma tecnologia de detecção?
- Desempenho computacional: O sistema é eficiente em termos de processamento e tempos de resposta? Quais fatores afetam sua eficiência?
- Estética: Até que ponto uma tecnologia de detecção afeta a aparência de um objeto? O usuário pode identificar quais objetos ou propriedades são sentidos e quais não são?
- Robustez e confiabilidade: O sistema pode realizar sua funcionalidade necessária por um longo período de tempo sem interrupções?
- Configuração e calibração: O que é necessário para colocar o sistema em funcionamento?
- Escalabilidade. O sistema pode suportar um número crescente de objetos ou usuários?
- Portabilidade. Até que ponto uma tecnologia de detecção compromete a portabilidade de um sistema?

Como percebido no levantamento de estado da arte sobre mesas tangíveis, a maioria dos desenvolvimentos nos últimos anos de aplicações na RSL utilizaram soluções de mercado (ver mais detalhes no item 4.6) ou soluções customizáveis baseadas em *toolkits* de implementação para visão computacional, a saber: TUIO e reactIVision.

O Reactvision (KALTENBRUNNER; BENCINA, 2007)³ é um *software* de visão computacional gratuito, sob Licença Pública Geral (*GNU - General Public License*), o qual permite rastrear objetos por marcadores fiduciais específicos (Figura 34). Fornece um *toolkit* de funcionalidades específicas para uso em mesas tangíveis com iluminação infravermelha difusa. Já o TUIO (KALTENBRUNNER et al., 2005)⁴ fornece uma descrição sobre o estado do identificador no contexto da superfície bidimensional do tampo da mesa e o ângulo de rotação para o rastreamento dos objetos físicos através dos marcadores fiduciais.

³reactIVision disponível em <https://reactivision.sourceforge.net/>

⁴TUIO disponível em <http://www.tuio.org/>

Tabela 2 – Comparação de tecnologias de implementação em mesas tangíveis usando as propriedades acima. Fonte: Autor (2022) baseado em Shaer; Hornecker (2010)

Propriedade	RFDI	Visão Computacional	Microcontroladores
Propriedades físicas detectadas	Identidade, presença.	Identidade, presença, forma, cor, orientação, posição, posição relativa e sequência.	Intensidade da luz, reflexão, movimento, aceleração, localização, proximidade, posição, toque, temperatura, concentração de gás, radiação, etc.
Custo	As etiquetas são baratas e abundantes. O custo dos leitores varia, mas geralmente é barato (leitores de curta distância).	As etiquetas fiduciais são praticamente gratuitas. O custo de câmeras de alta qualidade diminui continuamente. Um projetor de alta resolução é relativamente caro	Geralmente barato. O custo dos sensores e atuadores varia segundo o tipo.
Performance	As tags são lidas em tempo real, sem latência associada ao processamento adicional.	Dependente da qualidade da imagem. Os algoritmos específicos de tags geralmente são rápidos e precisos. Um grande número de tags ou imagens de baixa qualidade demoram mais para serem processados. O desfoque de movimento é um problema ao rastrear objetos em movimento.	Geralmente projetado para alto desempenho. Os sistemas autônomos normalmente têm um desempenho melhor do que os sistemas baseados em computador.



Figura 34 – Marcadores fiduciais padrões do reacTIVision. Fonte: Kaltenbrunner; Bencina (2007)

A especificação desse protocolo descritivo sugere uma arquitetura distribuída (Figura 35), separando o componente sensor de rastreamento da aplicação real do usuário.

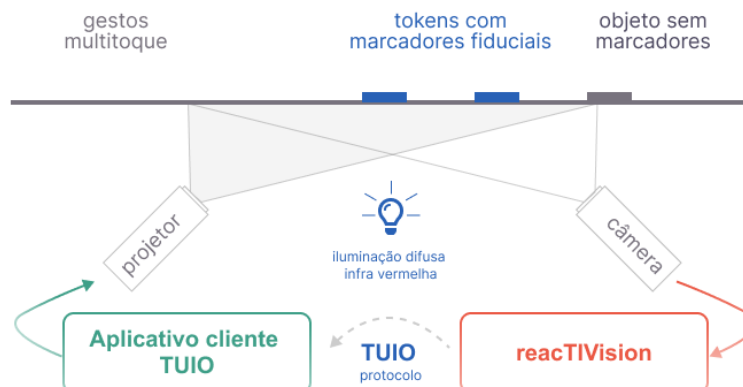


Figura 35 – Arquitetura de funcionamento reactTIVision e TUIO em conjunto Fonte: Autor (2022) baseado em Preuss et al. (2020)

Essa abordagem permite a interoperabilidade de várias tecnologias de sensores, plataformas e ambientes de programação, fornecendo uma coleção de implementações de clientes TUIO para linguagens de programação como C, C++, Java e JavaScript. A estrutura inclui um conjunto de exemplos de clientes TUIO gratuitos para várias linguagens de programação, que servem como base para o desenvolvimento de aplicativos. Devida à sua ampla adoção, o protocolo TUIO pode ser considerado um padrão da comunidade, dispondo inclusive de um repositório de informações, com especificação real do protocolo e muitos outros recursos que podem ser necessários ou úteis para o desenvolvimento de aplicativos para mesas tangíveis baseados nele.

4.5 Frameworks para mesas tangíveis

Além das estruturas organizadas pelos pesquisadores para entender conceitualmente os diversos elementos que formam uma TUI (ver mais detalhes no item 3.2.2), dos *toolkits* de implementação (ver item acima), buscou-se identificar, através da RSL, a existência de *frameworks* específicos para interação com mesas tangíveis.

Durante a aplicação do protocolo da RSL foram retornados 47 artigos com estudos secundários (revisões sistemáticas, apresentação de *frameworks* ou *toolkits*). Nesse caso se optou por não considerá-los na RSL para extração das respostas de pesquisa do protocolo, pois não apresentavam o desenvolvimento de uma aplicação, contudo foram analisados quanto seus objetivos e resultados de pesquisa em relação ao proposto por essa Tese.

Vários desses estudos secundários retornaram na RSL, pois apresentam a TUI como algum tipo de aspecto ou característica de análise nos seus objetivos, mas não necessariamente relacionados a mesas tangíveis. Como, por exemplo, em Duque

et al. (2019), o qual analisou 51 artigos de 2013 a 2018 com relação à utilização da abordagem projetual DCU e apresentou, em alguns desses, o uso dessa metodologia na construção de aplicações tangíveis. Em outra perspectiva, três desses estudos secundários são construções teóricas com *frameworks* específicos sobre interfaces tangíveis em mesas e são resumidamente descritas na tabela 3.

Tabela 3 – Principais frameworks para mesa tangível. Autor: Preuss et al. (2020)

Trabalho/autor	Descrição	Resultados
COPSE (MAQUIL et al., 2017)	Estrutura de software para instanciar os Microworlds como atividades colaborativas de solução de problemas em interfaces de mesa tangíveis.	Confirmou o interesse dos educadores em mesas tangíveis e a necessidade de ser implementada uma interface de autoria, baseada na Web, para fornecer uma maneira visual de criar os arquivos de configuração
TULIP (MAQUIL; TOBIAS; LATOUR, 2015)	Estrutura de software para interfaces de mesa tangíveis que usa uma camada de abstração para permitir o desenvolvimento rápido de aplicativos.	É usado sobre as estruturas existentes de hardware e visão computacional e atende principalmente à camada de representação intangível do modelo MCRpd
GAINE (BOTTINO et al., 2016)	Estrutura de software que permite a rápida criação de protótipos e desenvolvimento de jogos de mesa interativos, oferecendo aos desenvolvedores construções de alto nível específicas do contexto e uma linguagem de script simples que simplifica a tarefa de implementação.	Utiliza uma mesa tangível com IR FTIR e DI, pois essa combinação fornece um rastreamento mais robusto, uma vez que o DI pode rastrear de forma confiável os fiduciais e o FTIR oferece uma solução melhor para rastrear toques e movimentos rápidos dos dedos na superfície da mesa com reacTIVision e TUIO.

O *framework* **COPSE (COLlaborative Problem Solving Environment)** constrói uma abordagem que fornece uma série de blocos de construção que podem ser combinados de várias maneiras para modelar e instanciar simulações de fenômenos complexos e problemas relacionados através dos Microworlds (também chamados de “cenários de micromundo” ou simplesmente “cenários”) em uma mesa tangível (à esquerda na Figura 36).

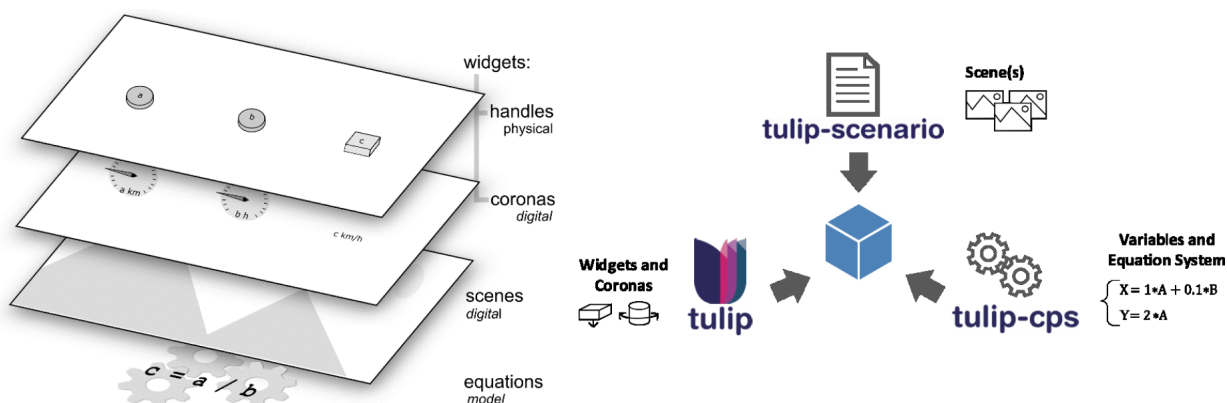


Figura 36 – Arquitetura de alto nível do sistema de blocos sobrepostos (à esquerda) e esquema de implementação de cada um dos três envolvidos na construção dos blocos (à direita) Fonte: Maquil et al. (2017)

A estrutura criada por Maquil et al. (2017) fornece três tipos de blocos de construção: *widgets* (fornecem I/O), equações (definem o modelo proposto) e cenas (geram visualização de *feedback*), os quais podem ser especificados na forma de texto estruturado. O objetivo do COPSE é simplificar os processos de criação, ajuste e reutilização de cenários personalizados com os Microwords.

Através dessa estrutura de blocos, o COPSE possibilita a criação de uma ampla variedade de cenários, juntamente com a fácil instanciação desses em relação ao que se propõe na aplicação. O objetivo pretendido é, por um lado, reduzir os recursos necessários para desenvolver cenários com o reaproveitamento de Microwords, por outro, dar a pessoas não especializadas em computação a possibilidade de obter uma experiência prática no que diz respeito às possibilidades de interfaces em mesa tangíveis (com foco em educação), visando contribuir de forma mais eficaz para moldar aplicações futuras.

Para implementar a inicialização técnica desses cenários definidos, foram identificadas três responsabilidades diferentes e, assim, surgiram os módulos (Figura 36 à direita) os quais atenderiam cada um à responsabilidade específica. Isso também permite aprimorar, substituir, estender e manter qualquer um dos módulos sem introduzir problemas relacionados à regressão. Além disso, permite a estrutura ser escalada sem necessariamente impactar o suporte de configurações de cenários legados. Isso é útil e necessário para permitir que as aplicações passadas possam ser reutilizadas e minimizar o tempo necessário aos educadores para manter e adaptar seus cenários.

O módulo chamado "tulip-scenario" implementa os meios para definir o cenário. A interação com a interface da mesa tangível é tratada pelo TULIP (*framework* a ser pormenorizado a seguir). O modelo subjacente do Microworld é tratado pelo "tulip-cps", uma biblioteca que permite definir sistemas de equações.

O *framework* **TULIP** (TOBIAS; MAQUIL; LATOUR, 2015) foi também desenvolvido pelo mesmo grupo de pesquisa que o COPSE. O objetivo dessa estrutura é fornecer o

nível de abstração em camadas que depois seria utilizado no TULIP. A partir do recebimento de informação da visão computacional (como o reactIVision), e um modelo de *widget* baseado no MCRpd, o TULIP utiliza alguns princípios da engenharia de software para otimizar e facilitar o desenvolvimento e a documentação de aplicações em mesas tangíveis.

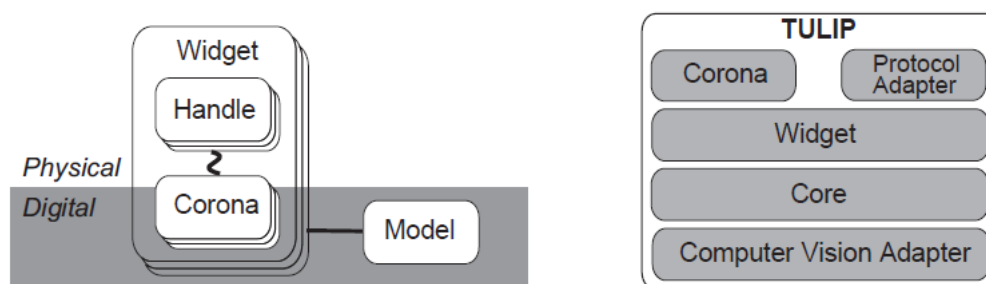


Figura 37 – Modelo de *widget* baseado em MCRit (à esquerda) e arquitetura de implementação do TULIP (à direita) Fonte: Tobias; Maquil; Latour (2015)

O *framework* considera que um *widget* é composto por uma dimensão física correspondente ao elemento rep-p do MCRpd e uma dimensão digital semelhante ao elemento rep-d. A dimensão física é implementado por "*handles*" (alças), objetos físicos agarráveis que os usuários manipulam para interagir com o sistema. A dimensão digital apresenta as conexões para o modelo com os *widgets*, suas funcionalidades, bem como elementos de *feedback* visual chamado "coronas" (Figura 37 à esquerda).

A Figura 37 (à direita) mostra a arquitetura TULIP de alto nível. A camada inferior é composta por um adaptador de visão computacional abstrato, com objetivo de ser flexível quando se trata da *toolkit* de CV a ser usada. O TULIP implementa um adaptador TUIO e a camada do núcleo contém as classes que suportam implantação de aplicativos, interface, calibração e configuração, fornecendo *feedback* e gerenciamento dos *widget*.

O *framework* **GAINE** (*tanGible Augmented INteraction for Edutainment*) é um *software* que permite prototipagem rápida e o desenvolvimento de aplicações tangíveis para mesas com foco em *edutainment*. O GAINE tem duas características principais: (1) ele oferece aos desenvolvedores construções específicas de contexto de alto nível que reduzem significativamente a carga de implementação, (2) a estrutura é portátil em diferentes sistemas operacionais e oferece independência do *hardware* subjacente e da tecnologia de rastreamento.

Percebe-se que esses *frameworks*, **COPSE**, **TULIP** e o **GAINE** têm o objetivo comum de criar estruturas pré-definidas que facilitem desenvolvedores na hora da implementação, contudo não apresentam a liberdade de criar novos recursos ou integrar com outras tecnologias. Ambas exigem conhecimento técnico e lógica de programação para conseguir operacionalizar essa configuração de infraestrutura (PREUSS

et al., 2020), ou seja, são exclusivamente pensados pela perspectiva de implementação. Na medida que resolvem em parte os problemas endereçados anteriormente as TUIs, contudo não auxiliam os designers a planejar a construção das aplicações na perspectiva da interação com a aplicação.

4.6 Soluções de mercado

Através de uma *desk research*, e da entrevista com os especialistas (Ver mais detalhes no item 4.7 a seguir), pode-se compreender os esforços do mercado acerca de desenvolvimento de soluções para a interação tangível em mesas.

Microsoft e a Samsung já lançaram suas versões de mesas tangíveis: Microsoft Surface (Figura 38) e Samsung SUR40 (Figura 39), contudo, devido aos altos custos e baixa comercialização (preço inicial da SUR40 era de mais de 8.000 dólares) as duas soluções foram descontinuadas.

A Surface pode reconhecer objetos físicos e permite controle direto do conteúdo sobre a superfície da mesa por uso da interação multitoque. Essa superfície dinâmica é embarcada numa estrutura física que funciona como uma mesa comum e a interação inicial incentiva o toque na tela. O dispositivo conta com uma série de aplicativos padrões de fábrica, como visualizador de fotos e mapas, reprodução de vídeo e música. Através da SDK fornecida pela Microsoft os desenvolvedores podem criar aplicações que utilizem os seguintes movimentos: tocar, arrastar, escalonar, virar. Como um dos aspectos negativos, além do valor elevado, um dos especialistas entrevistados relatou que por a solução ser um "pacote fechado", ela ficou logo a seguir desatualizada para as necessidades do seu grupo de pesquisa.



Figura 38 – Usuários manipulando a mesa tangível Microsoft Surface. Fonte: Microsoft [S.d.]

Uma dos dispositivos comerciais que mais foram citadas dentro da RSL sobre mesas tangíveis (Apêndice A) foi a solução desenvolvida e lançada pela Samsung chamada SUR40. Essa mesa utiliza o sistema operacional desenvolvido pela Microsoft e possui suporte a multitoque em uma tela de 40 polegadas, com tecnologia PixelSense que permite a superfície da mesa reconhecer objetos sem a necessidade de uma

câmera instalada (PREUSS et al., 2020).

A SUR40 também tem um computador embutido e cada píxel do seu tampo emite um feixe infravermelho que reflete o objeto de volta para o sensor, gerando identificação para criar uma imagem através de formas e textos. Também conta com uma SDK de desenvolvimento para criação de aplicativos que funcionem em seu ecossistema operacional.



Figura 39 – Mesa Samsung SUR40 Fonte: Samsung [S.d.]

Justamente pela sua capacidade de atualização e escalabilidade, foi apontada por um dos especialistas entrevistados como a melhor solução comercial disponível para o ambiente de pesquisa.

Outra solução recorrente nos artigos da RSL e na bibliografia da área (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013), com produção descontinuada em 2022, é o Reactable⁵. Ele é um instrumento musical que consiste em uma mesa tangível na qual objetos físicos são dispostos sobre seu tampo e, a partir da forma com que os objetos são posicionados e conforme movimentados na superfície, a aplicação reflete um som diferente (Figura 20) (JORDÀ et al., 2007).

Ele é baseado em uma mesa redonda com superfície translúcida. Na parte interior existe uma câmera infravermelha de vídeo que analisa a superfície e rastreia a natureza, posição e orientação dos objetos de diferentes formas. Os objetos são todos passivos e sem sensores ou atuadores, mas possuem marcadores fiduciais em sua base. Cada um dos objetos possui uma função dedicada à geração, modificação ou controle do som. Ao movê-los e aproximá-los, os artistas constroem e tocam o instrumento simultaneamente, enquanto giram os objetos como botões rotativos, permitindo controlar seus parâmetros internos (JORDÀ et al., 2007).

Seu interior também dispõe de um projetor que gera no tampo da mesa *feedbacks* visuais e as formas dos botões buscam similaridades com objetos do cotidiano de artistas de música eletrônica (como botões de sintetizadores, etc), gerando uma relação intuitiva de *affordance*. O mérito da Reactable, apontado por alguns dos especialistas

⁵Disponível em www.reactable.com

entrevistados, é justamente utilizar uma estrutura tecnológica aberta (ReacTIVision e TUIO) em uma estrutura embarcada fechada, com uma finalidade única para ser comercializada.

Os monitores MultiTaction ⁶ são uma solução comercial que envolve hardware e software para uma mesa interativa com suporte a interações ao toque e multi-toque, além de reconhecer objetos e marcadores fiduciais.

Esses monitores são uma solução comercial completa que envolve *hardware / software* de forma integrada, com qualidade de luminosidade superior às soluções que usam projetores, bem como maior precisão de rastreamento. Os custos dessa solução, ainda disponível no mercado, variam de 10 a 12 mil dólares e exigem desenvolvimento de aplicações segundo SDK própria (PREUSS et al., 2020).



Figura 40 – Mesa *multitouch* que reconhece objetos Fonte: Multitacion [S.d.]

Outro modelo encontrado no mercado que chama atenção pelo seu perfil de construção e uso é a Playtable ⁷. Ela não é uma mesa tangível e sim uma mesa interativa multitoque com foco em educação não formal para crianças (Figura 41). Segundo o fabricante *"a PlayTable é uma plataforma de jogos e aplicativos baseada numa mesa interativa e multidisciplinar, onde as crianças brincam, jogam, exploram, experimentam, se expressam e convivem juntas"*.

O que a diferença de outras mesas interativas ou de um *tablet* é justamente a disposição na forma de uma mesa e as aplicações desenvolvidas com objetivo de estimular a colaboração entre várias crianças.

Alguns modelos de mesas tangíveis não são comercializáveis, contudo pode-se dizer de um determinado modelo, pois partem de um padrão específico de equipamentos e configurações embarcadas. São especialmente usadas em pesquisas, pois constituem uma alternativa com menor custo e maior customização.

O modelo TangiSense (KUBICKI et al., 2009) e o NIKVision (MARCO; BALDASSARRI; CERREZO, 2013) são exemplos dessa abordagem e foram citados na extração de dados dos artigos contidos na RSL sobre mesas tangíveis (Apêndice A), mesmo

⁶Disponível em multitaction.com

⁷Disponível em <https://playtable.com.br/>



Figura 41 – Crianças interagindo com a Playtable. Fonte: Playmove [S.d.]

sendo modelos já com quase dez anos de projeto.

A NIKVision destina-se a proporcionar lazer e diversão enquanto reforça manipulação física e jogos co-localizados para crianças de 3 a 6 anos. A interação é fornecida pelo manuseio de brinquedos convencionais como *tokens* em uma mesa tangível. A presença de um monitor vertical adicional (Figura 42) que complementa a saída da superfície da mesa é uma característica única que a difere dos demais modelos.



Figura 42 – Protótipo do NIKVision com atividades e gráficos 2D (à direita) e 3D (à esquerda). Fonte: Marco; Baldassarri; Cerezo (2013)

A tecnologia de implementação utilizada na NIKVision é baseada no uso de visão computacional com uso dos *toolkits* já citados, reactIVision e TUIO, enquanto o *feedback* visual é possibilitado por um monitor na parte interna da mesa e do monitor vertical. Já o modelo TangiSense (Figura 43) está equipado com tecnologia RFID, na qual a interação vem da manipulação de *tokens* com etiquetas rastreáveis, as quais são identificadas pelos leitores embarcados na mesa tangível, gerando os *feedbacks* visuais via LEDs equipados na parte superior do tampo.

Como já comentado anteriormente, fora das soluções comerciais já apresentadas e dos modelos fechados com especificações próprias, os *toolkits* de implementação possibilitaram uma profusão de pesquisas com modelos de mesas tangíveis customizadas. Um dos exemplos é o apresentado em Preuss et al. (2019), o qual utiliza

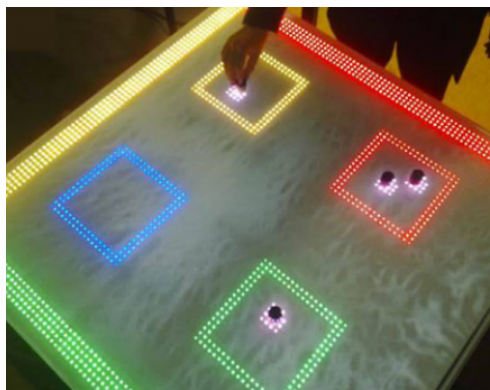


Figura 43 – Protótipo do TangiSense. Fonte: Kubicki et al. (2009)

as tecnologias de implementação já detalhadas, baseadas em CV, para construção e especificação de uma mesa tangível (Figura 44).



Figura 44 – Mesas tangíveis interativas. Fonte: Preuss et al. (2019)

A construção desse modelo é a mesma utilizada como infraestrutura para desenvolvimento dessa Tese. O grande diferencial desse modelo de mesa é potencializar sua construção com um custo ⁸ bem inferior às soluções comerciais disponíveis de mercado como a MultiTaction ou a SUR40.

4.7 Visão de especialistas

A metodologia RtD pressupõe o envolvimento de especialistas com o objetivo de identificar e analisar determinados aspectos sobre um determinado problema de pesquisa. Nesse sentido, além da fundamentação teórica, ancorada na RSL que discutiu trabalhos práticos já desenvolvidos, o envolvimento de *experts* em design de interação ajuda a consolidação do conhecimento teórico fundamentado na experiência prática desses profissionais.

Para tanto, foi realizada uma série de entrevistas semiestruturadas (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013) visando ter uma visão de especialistas sobre suas experiências

⁸Baseado nos valores de 2022, o custo de construção dessa mesa fica em torno de 5000 reais.

com interação tangível, sobre usos desse tipo de interface relacionada ao dispositivo mesa tangível e características gerais que perceberam, entre oportunidades e dificuldades, para desenvolvimento de aplicações na área.

Foram entrevistados 10 especialistas com diferentes níveis de experiência e atuações dentro da área de design de interação, sendo que esse número foi delimitado por saturação teórica. Segundo Fontanella et al. (2011), embora uma certa imprecisão do número amostral final de entrevistas seja inevitável e inerente aos métodos qualitativos, ela não fragiliza ou compromete a validade empírica e a credibilidade das análises dos achados na medida que as técnicas são bem empregadas.

As entrevistas foram registradas em áudio e transcritas e a seleção desses entrevistados se deu por conveniência. Foram contatados vários outros especialistas que não retornaram a disponibilidade de participação. Alguns desses pesquisadores entrevistados são diretamente responsáveis pela criação de alguns dos modelos citados na extração de dados da RSL e são referências relevantes no campo de pesquisa em interação tangível sobre mesas.

Dois desses especialistas tem foco atuação como desenvolvedores, uma especialista atua como designer de UX/UI e outros sete são professores e pesquisadores com diversos níveis de envolvimento e experiência com interação tangível.

A Tabela 4 apresenta um detalhamento da formação acadêmica, qual a ocupação atual de cada um dos entrevistados e seus níveis de experiência com uso de mesas tangíveis ou com projetos que envolvam interação tangível.

Todos os entrevistados receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Cessão de direito de uso de gravação e registro de entrevista para fins educacionais/científicos (**Apêndice C**), para ficarem cientes das garantias de sigilo e privacidade sobre seus dados. Também pela facilidade de acesso (já que alguns pesquisadores atuam em outros países) todas as entrevistas foram realizadas por videoconferência.

Foi utilizado um roteiro básico de perguntas (Ver **Apêndice D - Roteiro de Entrevista semiestruturada com especialistas sobre o Design de Interação para aplicativos em mesas tangíveis**) que resumidamente pode ser descrito com algumas perguntas:

Quanto tempo de experiência no uso de mesas tangíveis? Já projetou alguma aplicação para esse dispositivo? Quais foram as dificuldades encontradas nesse processo? Acredita que é um processo similar com o de projetar uma interface gráfica? Você identifica benefícios no uso da interação tangível numa mesa? Quais? Quais as limitações ou pontos críticos que acredita que devem ser observados no design de interação para uma mesa tangível? Como visualiza o uso desse dispositivo no cotidiano das pessoas?

Com base nessas perguntas buscou-se explorar o *gap* de pesquisa, identificando-

Tabela 4 – Perfil dos especialistas entrevistados.

	Formação, ocupação atual e experiência com IHC e mesas tangíveis
Esp1	Doutorado em Engenharia Elétrica, atualmente é professora de nível superior do Centro de Desenvolvimento Tecnológico, ministrando disciplinas da área de IHC há pelo menos 10 anos. Desenvolveu durante esse período pesquisas relacionadas a tecnologia assistiva, acessibilidade e interação tangível.
Esp2	Doutorado em Informática na Educação, trabalha como professor de nível superior no Departamento de Tecnologia da Informação. Pesquisa educação e computação há mais de 20 anos e, especificamente, com pesquisas ligadas a IHC e a mesa tangível desde 2016 (6 anos).
Esp3	Doutorado em Ciência da Computação, professora de nível superior no Departamento de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas. Trabalha com a área de educação e pesquisas envolvendo IHC há 20 anos em temas como realidade estendida, jogos digitais lúdicos, TICs para a educação, tecnologia assistiva, interação tangível e internet das coisas. Já desenvolveu aplicações e utiliza mesas tangíveis há pelo menos 4 anos.
Esp4	Mestrado em Ciência da computação, atua como desenvolvedor web nos últimos 4 anos. Desenvolveu mestrado e projetos na área de IHC em mesa multi toque para indústria militar durante 6 anos.
Esp5	Doutorado em Engenharia Elétrica, atua como professor de nível superior do Departamento de Ciência da Computação com pesquisas em IHC, nos últimos 9 anos, atuando em projetos de Realidade Virtual, Realidade Aumentada e com mesa multi toque, aplicados principalmente na indústria de energia e petróleo, e também em áreas como entretenimento e acessibilidade.
Esp6	Doutorado em Comunicação e Mídia/Multimídia, trabalha atualmente como líder de um time de desenvolvedores para tecnologias embarcadas. Tem experiência de implementação há mais de 15 anos, nos quais já trabalhou com TV interativa. Dessa forma nunca pesquisou diretamente a área de IHC, porém sempre trabalhou em conjunto com profissionais da área para melhor experiência do usuário dos produtos que desenvolvia.
Esp7	Doutorado em Engenharia da Computação, é professora de nível superior do Departamento Universitário de Ciência da Computação e Engenharia de Sistemas. Tem experiência em pesquisas em IHC há mais de 15 anos, sendo que desses 12 anos diretamente envolvida com projetos para mesas tangíveis.
Esp8	Doutorado em Comunicação e Semiótica, é professora de nível superior do Curso de Artes Visuais e pesquisadora há pelo menos 20 anos das relações entre arte, design e tecnologia. Têm experiência em trabalhos envolvendo bio interfaces com contribuições na área de design-neurociência.
Esp9	Doutorado em Ciência da Computação, é professora de nível superior do Departamento Universitário de Ciência da Computação e Engenharia de Sistemas. Tem experiência em pesquisas com IHC há 25 anos, com trabalho há mais de 10 anos envolvendo mesas tangíveis, além do relacionamento de interação tangível e computação afetiva.
Esp10	Graduada em Design Industrial, atua como UX/UI designer há mais de 20 anos. Tem vasta experiência de mercado no desenvolvimento de plataformas com foco numa melhor experiência do usuário. Não têm experiência no desenvolvimento e implementação de interfaces tangíveis, mas atua no segmento de interfaces em dispositivos domóticos há mais de 5 anos.

o, e analisando possíveis aspectos projetuais do design de interação para mesas tangíveis. Além de verificar se os pesquisadores percebiam similaridades e diferenças em relação ao projeto de GUI e se os *frameworks* existentes conseguiam atender adequadamente o esforço de projetar para TUIs em mesas tangíveis.

Com base no resultado da transcrição e análise das entrevistas, observaram-se alguns aspectos importantes individuais por cada um dos especialistas sobre o tema, além da constatação de algumas relações comuns estabelecidas por todos. A seguir apresentar-se-á alguns desses destaques em cada uma dessas entrevistas, bem como ao final um resumo de aspectos importantes elencados por todos.

Especialista 1

"Meu interesse só foi aumentando (em pesquisas com mesas tangíveis) na medida que eu me aproximei dos dispositivos, porque é uma coisa que é diferente. Para a gente que tenta projetar coisas com esses dispositivos, a gente precisa ter o dispositivo, isso precisa ser concreto para ti. É muito difícil de entender como funciona uma coisa se tu não experimentou aquela coisa. Então, acho que uma das grandes barreiras do interesse não ser mais globalizado é justamente pela carência dessa experiência com uma mesa."

Sobre aplicações nas mesas tangíveis, barreiras e dificuldades, o Esp01 comentou que elas *"(...) sempre tinham um uso específico para aquela mesa ou num contexto de ensino, ou num contexto de tratamento de alguma coisa. Num contexto assistencial (...)".*

As relações de GUI e TUI e dispositivos: *"Eu acredito que GUI já foi assim algum dia, casada ao dispositivo, porque eu tinha que pensar numa GUI para um dispositivo específico e talvez as pessoas que pensavam naquele momento, naquele recorte específico, também tinham essa dificuldade de enxergar aquela forma de interagir para qualquer outra coisa. Eu acho que a gente está meio que nesse pé assim com as TUIs. Elas ainda estão muito casadas ao dispositivo, mas elas não são o dispositivo."*

Sobre projetar para uma TUI: **ESP 01** *"Eu acredito que as etapas de projeto são similares, mas tem coisas que vão ser bem diferentes. Quando eu projeto para uma GUI já parto do princípio que as pessoas também já conhece, porque é assim que funciona. Se eu projetar para um dispositivo que as pessoas não tem como hábito usar, até eu tenho que saber como ele funciona, porque sem conhecer o dispositivo também vou pensar - como eu uso isso?"*

Especialista 2

As dificuldades no design de interação para mesa tangível, e em aplicações educacionais (foco das pesquisas) foram de *"planejamento da aplicação, definir qual é o objetivo? Qual é o público alvo, quantas cenas vai ter, o que vai ter em cada cena (...) vai ter isso quando colocar esse objeto nesse local, vai acontecer alguma coisa*

quando arrastar esse objeto nesse outro local".

No uso de mesas tangíveis para educação especial *"foi importante nas ações para crianças com deficiência visual de poder ter audiodescrição, mas principalmente para crianças com autismo. O material concreto. O objeto real, a interação real é um objeto. Então para criança com autismo ela tem um ganho, um potencial maior. Não que ela não sirva para as outras coisas, mas ela tem um potencial maior para crianças com autismo e com deficiência intelectual porque não usa uma metáfora e sim um objeto físico e real".*

Sobre o processo de interação e o uso dos tokens: **ESP 02** *"A definição do que é o token é um aspecto primordial. Não sei se é o mais importante, mas é um dos mais relevantes da interface tangível. Eu sempre digo que o que difere uma mesa tangível de um tablet é o uso de um objeto real para interação. Eu não escolhi o objeto clicando nele, eu tenho um objeto na mão e esse meu objeto é que faz a interação. Esse é o esse aspecto primordial que dá mais significado (...) em uma aplicação que desenvolvemos usávamos frutas como tokens, eles interagiram com as frutas e no final tiravam os marcadores fiduciais e comiam ela. Tem algo mais significativo do que isso daí?"*

Especialista 3

Sobre a dificuldade de projetar para mesas tangíveis: *"Mas as pessoas têm um pouco de dificuldade para intervir e projetar, o que não é para acontecer, sabe? Porque a gente até brincava, o natural é usar a mão, ninguém nasce segurando uma caneta, o apontador que tu nasce é com as mãos, então interagir com as mãos eu acho que ainda é uma desconstrução. Usar as mãos num espaço, com os objetos, sendo que te doutrinaram para usar teclado, mouse e tu fica condicionado nisso"*

Crianças interagindo com mesas tangíveis *"são exploradoras por natureza e não tem muito medo de mexer nas coisas, então elas tentam, erram e seguem mexendo. Já os adultos têm medo de quebrar ou estragar mesmo, vergonha e até por acharem que não saberão usar mesmo.*

ESP 03 Destacou muito o uso de mesas tangíveis como ferramenta de inclusão para pessoas com deficiência visual e vem desenvolvendo experiências com realidade aumentada em conjunto com outras formas de interação, inclusive tangível.

Especialista 4

Trabalhou com projetos para mesas interativas sem o envolvimento de objetos físicos no processo de interação. Porém, fez algumas considerações sobre a relação de interação multitouch numa mesa interativa e com objetos físicos numa mesa tangível.

"No contexto das minhas pesquisas e da aplicação que desenvolvi o uso de objeto físico não ajudaria, porque os objetos se atualizam se movimentando em tempo real no simulador, daí se fosse um objeto mesmo não rolaria essa atualização, em

contrapartida, se fosse só marcar coisas em um determinado local acho que seria interessante poder pegar o objeto ao invés de simplesmente tocar na mesa."

Sinalizou um dos benefícios no uso de interação com mesas interativas *"foi ganho de agilidade, porque várias pessoas podiam mexer simultaneamente. Então ficava duas pessoas num lado e duas do outro e acabavam interagindo ao mesmo tempo. Então acho que essa é a principal vantagem"*.

Sobre projetar para as mesas interativas trouxe algumas considerações práticas sobre criar as aplicações: **ESP 04** *"Tem que cuidar bastante que a gente teve um pouquinho de problema é na escala das coisas na tela e tipo, se o usuário clicou do meio da tela para a borda, os itens de menu tem que abrir naquela orientação favorável a ele. Se ele clicou do meio para o outro lado, ele tem que abrir para o cara que está do outro lado. Essas coisas que a gente notou, dificuldade que eles (os usuários) tinham no início e que aos poucos iam aprendendo. Nós mesmos íamos testando e aprendendo. Orientação e escala das coisas é importante."*

Especialista 5

Também trabalhou com projetos para mesas interativas sem o envolvimento de objetos físicos no processo de interação. A maioria dos projetos buscava ser exploratórios *"na forma de interagir com 2 mãos com 3 mãos (duas pessoas), o objetivo era experimentar e explorar a mesa mesmo, não era nem desenvolver uma aplicação"*.

Sobre as dificuldades de se projetar para a mesa interativa, o Esp 5 relatou: **ESP 05** *"Eu acho que assim, na verdade, era justamente a falta de um método de projeto a dificuldade. Como interagir com as 2 mãos, enquanto estamos acostumados com o que a gente tem, celular e tablet com aqueles gestos padrões, na mesa dá para você ser mais sofisticado que isso, né? Então a gente tentou pensar em alguma coisa e experimentar mais esse dispositivo."*

Sobre os usos, ele comentou *"que as circunstâncias para uso são mais em educação para sala de aula. É um ambiente muito propício para a interação de pessoas. Ali cabe esse tipo de situação em que as pessoas colaboram com um objetivo"*.

Os projetos desenvolvidos pelo grupo de pesquisas desse professor usaram uma solução comercial da Microsoft e eles ficaram frustrados, pois não permitiu nenhuma atualização de *hardware* no dispositivo, o tornando obsoleto depois de alguns poucos anos.

Especialista 6

Trabalha como líder em um time de desenvolvedores que produzem aplicações para objetos físicos (foco em domótica). Não tem experiência com design de interação ou com projetos de aplicações para mesas tangíveis, contudo também contribuiu com um olhar sob essa perspectiva de implementação.

Uma observação do Esp 6 foi na abordagem metodológica que os condiciona a

desenvolver soluções embarcadas. *"Então, muitas vezes, o que se faz são entrevistas com um grupo selecionado de usuários daquele perfil final. Chegam para eles e falam, olha, acho que seria melhor assim ou de outro modo? E trazem para a equipe que faz uma transformação daquela conversa em requisitos funcionais. Usamos muito entrevista."*

Para criação de muitos desses produtos que demandam, às vezes, formas de interação não convencionais, a empresa na qual ele trabalha utiliza diversas técnicas como *design thinking*, grupos focais, entrevistas com grupos de usuários. Com base nisso os protótipos básicos são desenvolvidos e através da metodologia ágil alguns ciclos de iteração aperfeiçoam as funcionalidades e experiência de uso daquele produto.

Especialista 7

É a especialista com mais experiência aplicada a mesas tangíveis com pesquisas e contribuições na área há mais de 12 anos. Tem vários artigos relevantes, sendo alguns deles referências no desenvolvimento dessa Tese.

"Meu primeiro contato com interação tangível foi com uma tese de doutorado. O objetivo era explorar alguns aspectos dessa interação para crianças pequenas de 3 a 5 anos, do jardim da infância. Percebemos que foi muito interessante para elas, pois brincavam com a interação e com outras crianças ao mesmo tempo, manipulando os objetos. Então a mesa era um bom lugar para elas manipularem vários objetos simultaneamente, foi conveniente para eles. Então nesse ponto que a mesa tangível se definiu como melhor local para estudarmos. Já haviam estudos sobre questões colaborativas em trabalho, mas não tanto para crianças. Esse foi uma questão muito interessante que deu originalidade no trabalho naquela época."

ESP 03 Após os primeiros trabalhos houve um direcionamento aos esforços em educação especial, com uso da mesa tangível para acompanhamento de crianças com autismo e dificuldades de comunicação e também muitos desenvolvimentos de atividades para adultos com doenças mentais e suas famílias.

Um dos problemas elencados no projeto de aplicações para mesas tangíveis identificado pela Esp07 foi de que *"era necessária uma pessoa com conhecimento em informática para desenvolver as atividades das aplicações, um pouco de programação. Eles (terapeutas ou pessoas que acompanham o uso das aplicações) não sabiam o que era necessário para realmente desenvolver ou até mesmo mudar as atividades e isso foi realmente um problema."* Ao criar uma plataforma para usuários finais desenvolverem suas aplicações sem conhecimento de programação, o grupo de pesquisas dessa especialista abriu um leque de experimentos envolvendo diversas frentes de atuação, sempre ao redor da grande área da educação.

ESP 01 Sobre o design de interação em si, o relato foi sobre as dificuldades ini-

cias de projetar algo para essa interface: *"Como te falei, começamos a trabalhar com crianças muito pequenas, então no começo pensamos na questão de que tipo de manipulação com os objetos elas fariam? (...) um dos projetos foi um jogo de fazenda, era um jogo divertido com vacas, porcos e galinhas, e aí surgiam questões como que tipo de explicações elas precisariam para saber qual objeto e em qual momento deveriam fazer isso ou aquilo (...) nesse ponto usamos muito a técnica do Mágico de Oz para simular, sem codificar, alguns comportamentos que perguntávamos as crianças como queriam mexer na mesa e o que esperavam que acontecesse."*

ESP 06 Outro ponto a destacar colocado pela especialista foi *"os usuários tem dificuldade de memorizar certas ações com algo que não estão acostumados. Então minha compressão é que realmente o usuário tem que estar no centro do seu design. Porque muitos pequenos problemas sobre a interface e a interação realmente você tem que perceber ao ver seus usuários usando seu dispositivo. Porque muitos problemas que você acha que são naturais para eles ou coisas que acha que vai funcionar com eles realmente depois você percebe que não é bem assim."*

"A interação tangível na mesa pode ser muito útil. Para coletivos diferentes, mas é claro que esses coletivos têm suas próprias necessidades específicas. Portanto, o processo de projetar a interface é muito importante. Para nós, com o passar dos anos colocamos a abordagem de design centrado no usuário como principal foco, fazemos algo e vamos perguntar as pessoas se aquilo funciona."

ESP 07 Também sobre as diferenças de interação entre adultos e crianças com a mesa tangível e especificamente o que o *token* significa, a Esp07 comenta que *"para crianças é mais fácil entender porque estão acostumadas a brincar com objetos físicos, com adultos não é bem assim, tem que ser objetos do seu cotidiano, dessa forma pode ser que fique mais fácil, o objeto em si é que dá a dica do que você deve fazer com ele e aí depende mais uma vez do coletivo envolvido."*

"O mais interessante da interação tangível com a mesa é que ela não é artificial ou mediada por um mouse, ou teclado. Você faz coisas de verdade com objetos reais, você não precisa de um específico dispositivo de entrada, pois pode usar qualquer coisa física. Para uma criança o token funciona como um brinquedo, para um adulto tem que ser um objeto do seu dia-a-dia. Não pode ser um objeto artificial que as pessoas precisem entender para que ele serve"

Especialista 8

Apesar de não ter projetado aplicativos para mesas tangíveis, o Especialista 8 tem vasta experiências com projetos de interfaces não convencionais, mais especificamente com biointerfaces e contribuição em pesquisas envolvendo neurociência - design - arte - arquitetura.

"Estudando as ciências cognitivas e comportamental, inteligência artificial, foi aí eu

me encontrei. A conexão com o meu interesse em tecnologias então veio, na verdade, com meu grande desejo de desenvolver as biointerfaces inteligentes. Me interessei pelo desenvolvimento de interfaces que pudessem favorecer o organismo humano, que pudessem favorecer o ser humano na relação com as coisas."

Sobre a conexão entre as diversas áreas e como projetar interfaces envolvendo elas, a Especialista 8 comenta: *"Nós articulamos design, arte, espaço e mente. Conectamos conhecimentos, metodologias projetuais dessas áreas de formação, sendo a arte, o design, arquitetura e urbanismo. Essa fase projetual, ela se conecta com outros campos do conhecimento, como as ciências da saúde, as neurociências, as engenharias, a educação, ou seja, a gente vai sempre buscar essas operações, estes cenários com as outras áreas do conhecimento, para desenvolver os ambientes e as interfaces que visam favorecer o organismo humano, seu bem-estar e qualidade de vida."*

Especialista 9

Especialista com experiência no projeto e uso de mesas tangíveis, envolvida em pesquisas e com contribuições na área há mais de 12 anos. Também tem vários artigos relevantes publicados e participa do mesmo grupo de pesquisadores no qual está envolvida a Especialista 7.

Os primeiros experimentos envolveram jogos educativos para crianças com algum tipo de deficiência cognitiva e baseava-se em cartas que eram colocadas no chão, as quais continham elementos gráficos que eram reconhecidos por uma câmera (CV), gerando determinados *feedbacks* em um monitor que ficava a frente. **ESP 08** Essa disposição de cenário gerava um grande problema de oclusão, já que os braços, mãos e as próprias crianças atrapalhavam a identificação das cartas pela câmera. Além disso, vários fatores como iluminação do ambiente, disposição dos elementos no chão, etc, trazia muitas frustrações e um uso inadequado em certas situações, já que as crianças colocavam as cartas numa posição e tinham que olhar para frente para ver o retorno.

Dessa forma o caminho natural das pesquisas evoluiu para uso da mesa tangível como local de interação e colaboração: *"No início fazíamos pequenos jogos e o objetivo era sociabilizar as crianças com autismo e a mesa é um local apropriado para isso, pois estamos acostumados a usá-la no nosso dia-a-dia para fazer refeições em família, etc. Nosso primeiro protótipo era uma mesa bem comum com um tampo de vidro com câmeras e projetores embaixo, algo bem amador, mas permitiu percebermos que esse dispositivo poderia funcionar bem."*

Com o tempo foram desenvolvendo uma série de melhorias na mesa tangível, assim como também nas próprias aplicações que incluíam nela. Hoje o grupo dispõe de 4 mesas tangíveis com tecnologia de reconhecimento de fiduciais (com uso do re-

acTIVision). Já produziram projetos para crianças, adultos e pessoas idosas, desde simples jogos até aplicativos como listas de compras.

"É engraçado, pois uma coisa que observamos é que as pessoas se sentem confortáveis de usar a mesa tangível porque não parece que é algo muito complexo. Se sentem menos excluídas e como se não estivessem usando uma tecnologia".

ESP 02 Outro aspecto comentado pela Especialista 9 é que o modelo mental das pessoas condiciona muito o modo como interagem com os objetos na mesa tangível. Portanto, ao escolher o *token*, deve-se considerar que ele por si só deve ter *affordance* e, em conjunto com o espaço, com as outras pessoas que estão ao redor, ter o significado intrínseco do que pode ser feito com ele.

"As pessoas sabem como pegar e como usar um óculos, quando chegam na mesa deve ser mais próximo dessa relação".

Sobre metodologia comentou que tem muita diferença na questão de projeto de uma GUI em relação com uma TUI, principalmente na questão espacial e colaborativa. No início o grupo não usava uma abordagem estruturada de desenvolvimento para as aplicações, contudo com o tempo e a experiência começaram a perceber que entrevistas, co-criação e várias outras técnicas poderiam lhes ajudar a escolher, principalmente, qual tipo de manipulador e ação que poderia ser feita na mesa tangível.

"Com as crianças o processo era complicado, pois não sabíamos como elas utilizariam um manipulador, então deixávamos elas brincarem para ver que tipo de ação poderiam buscar com cada elemento no uso com a mesa. Adultos é mais simples nesse sentido, porém a dificuldade era eles entenderem que aquilo ali não é um computador, se usarmos objetos corretos que tenham significado fica mais acessível. Já para os idosos parece que a experiência de uso de jogos de mesa mesmo já lhes assegura uma manipulação de objetos de forma segura, sem tanto receio da tecnologia."

ESP 09 Outro aspecto interessante dos comentários da Especialista 09 foi de que é preciso considerar a textura, que tipos de coisas que as pessoas gostam ou não de tocar, quais as cores e formas envolvidas. Por isso ressaltou a importância de ciclos de avaliação contínuos desde o início do projeto para mitigar falhas ou prejuízos na experiência de uso.

Sobre as limitações de uso comentou das dificuldades de transporte do dispositivo, bem como a necessidade de conhecimentos tecnológicos para que a mesa não pare de funcionar. Aponta que para uma maior difusão de uso dessa UI é necessário um dispositivo tal como a Reactable, a qual tinha toda tecnologia embarcada como um "produto fechado". *"O custo não é tanto problema, projetores, câmeras, tudo está acessível em termos de custo, porém a dificuldade é mais técnica mesmo. Se a câmera fica um pouco fora do lugar é necessária uma calibração e aí o educador lá na escola pode não saber fazer."*

Essa especialista acredita que existem muitas possibilidades futuras de uso, prin-

principalmente sobre questões de trabalho colaborativo, uso terapêutico como forma de tratamento, seja para deficiências cognitivas, para reabilitação de mobilidade, etc.

Especialista 10

A última especialista entrevistada é profissional da área de design de interação há pelo menos 20 anos, trabalhando mais diretamente em projetos de interfaces gráficas com foco em experiência do usuário. Atualmente trabalha com projetos voltados a tecnologias *smarthomes*, envolvendo IoT, domóticos e interfaces que conversam com esses diversos dispositivos, na maioria utilizando GUI.

Não tem experiência no projeto de aplicações para mesas tangíveis, porém trouxe um olhar com experiência para diversas questões que envolvem o design de interações para dispositivos "não convencionais".

Sobre as diferenças de projetar essas diferentes interfaces que funcionam em diversos meios, ela ponderou - *"Não é que seja um método diferente de design, é tentar entender o problema, seu contexto. Nesse sentido, a observação nos auxilia muito na identificação de como os usuários utilizam ou pretendiam utilizar aquela interface."*

As diferentes possibilidades de interação com cada um dos dispositivos, o tipo de dado que será manipulado, geram desafios no design, porém a utilização de convenções e padrões já consagrados facilita tanto o desenvolvimento dessas interfaces como no uso delas.

Apesar de acreditar que novas formas de interação serão sempre bem-vindas, e que há um universo de possibilidades que ainda vai ser explorado, a Esp 10 comentou que *"cada vez há mais complexidade nas relações entre usuários e os diversos produtos digitais (que surgem diariamente) com os quais se relacionam. São várias informações, em vários lugares, algumas utilizando o contexto e outras não. Isso torna as coisas cada vez mais difíceis do que deveriam na medida que os usuários se sentem cada vez mais inseguros, sem controle, ou simplesmente não sabem onde estão."*

Essa especialista foi a única a comentar sobre privacidade e sigilo no uso dos dados. *"Hoje temos dentro da empresa que eu trabalho uma infinidade de dados que nos auxiliam a melhorar a experiência de uso das pessoas que utilizam nossos serviços. Porém, até que ponto isso seria ético? Até que ponto isso é aplicável em tecnologias como interfaces mais naturais como interação tangível?"*

Por trabalhar com um conceito "intuitivo", acredita que a interação com a mesa interativa tem um grande potencial, porém dentro de contextos específicos que peçam o que ela tem a oferecer que é ambiente e interações compartilhadas com objetos físicos.

Após a análise das entrevistas com todos os especialistas, algumas observações gerais comuns a todos foram notadas:

- **Mesas tangíveis não serão comuns no cotidiano das pessoas num futuro**

próximo: especialistas concordam que as mesas tangíveis serão utilizadas em contextos específicos como na área da educação, museus. Contudo, é um dispositivo que não é barato e portátil a ponto de uma popularização nos lares das pessoas;

- **Diferenças no design de interação para uma mesa tangível e uma GUI:** o ponto comum entre os especialistas é que projetar uma GUI parte do princípio básico que os usuários já tem familiaridade com esse tipo de interação, por outro lado, projetar uma aplicação para uma mesa tangível deve considerar que os usuários não têm o hábito de utilizar esse tipo de interface. Mesmo que parece uma interação mais natural, interagir com uma mesa tangível pressupõe uma curva de aprendizagem que deve ser facilitada pelo design de interação;
- **Metodologias projetuais tradicionais, porém sem considerar especificidades:** todos os especialistas com experiência em projeto de aplicações para mesas tangíveis relataram que usam algum método, todos baseados em abordagens já tradicionais como UCD, ou em abordagens ligadas a engenharia de software. Contudo, nenhum dos especialistas utiliza uma guia com diretrizes ou um *framework* que considere as particularidades da interação tangível para esse dispositivo;
- **ESP 02 Manipulador tangível (*token*) como ponto de partida:** entre os especialistas que já projetaram aplicações para mesas tangíveis em comum há o fato de que todos iniciaram seus projetos de aplicações pelo planejamento do que seriam os *tokens*. Ao definir quais os manipuladores tangíveis e seus comportamentos básicos, o resto é desenvolvido com base nisso;

4.8 Discussão

O objetivo desse capítulo foi apresentar de forma detalhada o dispositivo de TUI mesa tangível, suas características e aspectos gerais que impactam o design de interação. Com base na fundamentação teórica do Capítulo 3 - Arcabouço Teórico, a pesquisa preliminar para mesas tangíveis envolveu uma definição do estado de arte sobre esse dispositivo, com definições de tecnologias e *frameworks* de implementação, alinhadas a uma visão de mercado e dos especialistas sobre benefícios, oportunidades, barreiras e limitações na experiência de uso da interação tangível nesse contexto.

Conclui-se, depois desse capítulo, que tanto pelo viés das pesquisas acadêmicas publicadas e extraídas na RSL (fundamentadas na teoria e prática), como pela perspectiva de visão dos especialistas, que **não existe um guia de diretrizes projetuais que facilite o design de interação para mesas tangíveis**. Nos artigos publicados as metodologias e abordagens utilizadas são difusas, não uniformes, não consideram

as características das mesas tangíveis e a cada novo projeto percebe-se um tempo de aprendizado no uso com essa interação que poderia ser minimizado com o uso do conhecimento teórico já consolidado na área através de um *framework* específico.

Na visão dos especialistas, confrontados com a pergunta sobre projetar para mesas tangíveis, o que observou-se foi a utilização da experiência empírica do grupo de pesquisa no qual estão inseridos ou baseada em algum outro trabalho publicado específico ao contexto que irão desenvolver aquela aplicação. Utilizar as abordagens tradicionais (como UCD) auxilia o levantamento de requisitos ou definição de algumas características que devem estar contidas na aplicação, porém na hora de dar o primeiro passo ("Por onde devo iniciar?") nenhum deles tinha um guia de referência a não ser sua própria experiência.

Outro aspecto que chamou a atenção através da perspectiva dos especialistas, e não relatado nos artigos, é que o desconhecimento do próprio dispositivo mesa tangível impacta tanto seu uso como também na hora de projetar alguma aplicação. Usuários em geral já tem conhecimento (um modelo mental) estabelecido de como funciona uma interface gráfica, portanto, têm uma previsibilidade maior de como se relacionar com essa UI. Sabem que devem clicar ou tocar na tela para ativar um ícone, uma funcionalidade, ao identificarem um menu sabem que aquela é uma estrutura de organização para navegação.

Para projetar basicamente é a mesma situação, a existência de padrões de elementos básicos como os menus, ícones, janelas facilita o projeto de interface gráfica na medida que se sabe de que forma os usuários irão interpretar aquele elemento. Em uma TUI numa mesa tangível as convenções serão criadas durante seu uso, portanto cresce a relevância e importância sobre a perspectiva do design de interação para esse dispositivo.

O uso de uma mesa tangível é um paradigma de interação totalmente diferente. Mesmo tendo familiaridade com o uso de objetos físicos sobre uma mesa no cotidiano, o que deveria tornar o uso dessa interface algo mais "intuitivo", existe um estranhamento inicial sobre que tipos de ações são possíveis de serem executadas. De forma natural se estabelece instintivamente uma comparação de uso entre a TUI da mesa com uma GUI.

"Se posso clicar numa GUI ou usar o toque aqui posso também?"

"Não conheço como isso aqui funciona, mas deve ser parecido com um computador."

Essas são apenas algumas das frases relatadas no grupo de especialistas de como são as reações dos usuários quando vão usar a primeira vez uma mesa tangível. Contudo, crianças e idosos, por não terem um "modelo mental" delimitado no paradigma da GUI, têm um uso muito mais eficiente e sem barreiras no uso da mesa tangível. Uma das especialistas até comentou: *"crianças estão acostumadas a manipular brin-*

quedos e idosos com seus jogos de tabuleiros e cartas sobre as mesas também não ficam tão amedrontados no uso da mesa tangível”.

Com relação às evidências de diretrizes projetuais encontradas nesse capítulo pode-se dizer que foram de duas ordens: (a) baseadas na literatura e na RSL sobre mesas tangíveis e (b) aquelas encontradas através da análise da entrevista com os especialistas.

- **LIT 05** Proposição da tese dá conta da utilização de *tokens* passivos, possibilitando o uso de qualquer objeto físico com o fiducial anexo a ele em local identificável.
- **LIT 06** Os *tokens* são os controles principais de interação com a mesa tangível, pois são os objetos físicos que diretamente podem manipular os dados digitais.
- **LIT 07** Configurações das pessoas ao redor da mesa tangível gera determinadas situações que afetam o modo como cada uma delas interage com a interface.
- **LIT 07** Manipulação bimanual pode influenciar no modo como as tarefas e atividades são executadas na mesa tangível, pois permite paralelizar certas ações, melhorando produtividade diminuindo carga cognitiva.
- **LIT 09** Interação cruzada (braços e mãos de múltiplos usuários se colidirem sobre os demais) pode gerar possíveis interferências na interação com a mesa tangível, atrapalhando entendimento e controle das ações.
- **LIT 10** Cada *token* inseridos no projeto da aplicação para mesa tangível é um grau de liberdade a mais em escala de interações, o qual executa ações individualmente e em conjunto com os demais *tokens* numa dada linha do tempo.
- **LIT 11** Oferecer uma quantidade limitada de graus de liberdade podem proporcionar aos usuários uma sensação maior de controle.
- **LIT 12** Mesas tangíveis, justamente por permitirem múltiplas entradas de dados com vários usuários atuando simultaneamente, devem através de suas aplicações mediar as relações entre os usuários-usuários como também entre usuários-sistema.
- **LIT 13** Diversos arranjos de posicionamento das pessoas ao redor da mesa tangível impactam no processo de interação compartilhada, em como elas delimitam seu espaço pessoal (próximo a si) e a área compartilhada.
- **LIT 14** Mesas tangíveis são equipamentos grandes e sensíveis, estando colocados dentro de espaços físicos fechados com fatores ambientais controlados.

- **LIT 15** Diretrizes geradas por Manshaei et al. (2019) foram criadas dentro do contexto de estudo desenvolvido por aquela pesquisa, contudo são possíveis indícios para construção de diretrizes semelhantes no âmbito desse estudo.
- **LIT 16** Altura e dimensões da mesa tangível, tamanho e material dos *tokens*, iluminação do ambiente, são fatores que podem influenciar na experiência de uso, portanto devem ser considerados durante etapa de design da aplicação.
- **LIT 17** Observância a mínimos critérios sanitários para o projeto de design de interação em interfaces tangíveis para mesas deve ser considerado, dado cenário vivido durante a pandemia de COVID-19
- **ESP 01** Desconhecimento do dispositivo não deveria ser barreira para utilização de uma interação baseada na vivência prévia que se tem com objetos reais.
- **ESP 02** Definição do *token* como aspecto inicial do desenvolvimento do conceito da aplicação, o objeto que vai ser o manipulador tangível por si só deve conferir uma série de atributos inerentes ao seu uso na interação.
- **ESP 03** Utilização dos vários sentidos no desenvolvimento de uma aplicação para interface tangível para uma mesa possibilita acessibilidade a pessoas com capacidades diversas.
- **ESP 04** Orientação e tamanho dos elementos gráficos no tampo da mesa devem fazer sentido para os usuários que se encontram mais próximos a eles. Local onde o usuário larga o *token* deve auxiliar nesse sentido.
- **ESP 05** Falta de uma dinâmica consolidada de interação bi-manual com interfaces compartilhadas gera incertezas na ação com os manipuladores tangíveis.
- **ESP 06** Muitos usuários têm dificuldade de memorizar ações com algo que não estão acostumados.
- **ESP 07** Para cada grupo de usuários diferentes (se adultos ou crianças, por exemplo) os objetos físicos escolhidos como *tokens* pode ter significados diferentes. Considerar esse perfil na escolha do objeto manipulador.
- **ESP 08** A configuração de infraestrutura utilizada no dispositivo e os fatores ambientais ao redor dele afetam diretamente a experiência de uso da mesa tangível.
- **ESP 09** É preciso considerar os aspectos táteis, como textura, tamanho, forma e cores na escolha do manipular tangível. Importante considerar o que as pessoas gostam ou não de "pegar".

Diante de todas essas evidências, coletadas tanto de literatura como através das entrevistas, existe a necessidade de verificação ou validação dessas através de observações práticas.

Nessa medida os ciclos experimentais são importantes para o cruzamento das observações apontadas na teoria (RSL e fundamentação teórica) com a experiência prática dos especialistas, além da observação e levantamento de outras novas evidências.

5 CICLOS ITERATIVOS DE EXPERIMENTOS

Como citado por Shneiderman et al. (2016) princípios são derivados da mistura entre o conhecimento baseado na teoria e a experiência na prática. Este capítulo tem por objetivo justamente apresentar os ciclos iterativos de experimentos práticos para construção dessa Tese, os quais permitiram o entendimento prático/teórico sob a perspectiva de usuários, projetistas e desenvolvedores, contemplando todos os envolvidos no ato de projetar uma aplicação para mesa tangível.

O entendimento do cenário atual de pesquisas que compreendem a área de conhecimento dessa Tese, delimitado anteriormente, em conjunto com as lições apreendidas durante esses ciclos iterativos de experimentos, criam as condições necessárias de proposição e de avaliação desses experimentos. Entende-se aqui por experimento a observação de um fenômeno sob condições que o pesquisador pode controlar, na qual, por um processo de avaliação envolvendo usuários, coleta-se dados que possam gerar observações aplicáveis aquele contexto definido (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Nos próximos itens serão apresentadas as estratégias e infraestruturas (Item 5.1) utilizadas para o desenvolvimento dos ciclos iterativos dos experimentos, bem como os resultados de cada experimento com uma discussão sobre processos do design de interação para as mesas tangíveis.

Cabe lembrar que todos os experimentos, com testes e avaliações, executados no transcorrer dessa Tese, sofreram em maior ou menor grau impacto da pandemia de COVID 19, porém ocorreram conforme os padrões éticos sanitários recomendados e validados pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), (**Anexo A - Parecer consubstanciado da Comissão de Ética e Pesquisa CEP FAMED**). Mais detalhes no item 2.3 **Considerações éticas**.

5.1 Estratégia e infraestrutura dos experimentos

Com relação às estratégias de avaliação e análise dos experimentos optaram-se por diversos instrumentos e abordagens já detalhadas no item 3.1.3 e discutidas na perspectiva da interação tangível no item 3.2.3. Os ciclos iterativos envolveram obser-

vações de uso, grupos focais, oficinas de co-criação, entrevistas abertas, aplicação de questionários e testes de usabilidade e experiência do usuário (Figura 45).

O grupo focal é uma técnica de pesquisa qualitativa que explora, em um grupo de participantes, pontos de vista diversos sobre um determinado assunto ou conceito, ampliando e re-significando alguma problemática. Possibilita-se, desse modo, uma aproximação entre o cenário de pesquisa com o local prático no qual ela está inserida (BACKES et al., 2011).

Já as observações captam aquilo que nem sempre os usuários conseguem expressar verbalmente sobre o uso da mesa tangível (BARBOSA; SILVA, 2010). Nessa abordagem de experimento se propôs especialistas observarem o uso da mesa tangível sem interferência ao processo, simplesmente deixando os usuários que circulavam no espaço físico interagirem com o dispositivo, registrando alguns eventos por fotografias e anotações. Por outro lado, a utilização de questionários quantifica de maneira objetiva as respostas dos usuários para medir alguns aspectos como a usabilidade e experiência do uso.

Os experimentos 01 a 04 basearam-se principalmente na observação, em entrevistas ou questionários gerais de usabilidade e experiência do usuário (Escala SUS e *Attrackdif* respectivamente). O item 5.6 consolida todos os indícios elencados até então visando gerar categorias de análise do design de interação para mesa tangível utilizadas no ciclo de experimento 05, o qual busca trazer os resultados gerados mais próximos da validação dessa ou daquela variável na construção das diretrizes do DIMETA.



Figura 45 – Estratégia dos ciclos iterativos de experimentos Fonte: Autor (2023)

Com relação à infraestrutura utilizada nos experimentos desenvolvidos, a mesa tangível construída utilizou como base a especificação dada em Preuss et al. (2019).

Ela utiliza técnicas de reconhecimento de objetos por visão computacional com o ReactVision (KALTENBRUNNER; BENCINA, 2007) e *framework* de implementação do TUIO (KALTENBRUNNER et al., 2005).

Utilizou-se também a ferramentas de autoria Eduba ¹ (PREUSS et al., 2020) para o desenvolvimento das aplicações da mesa tangível usadas nos experimentos. Os ciclos de experimentos 01, 02 e 03 utilizaram as aplicações *Colors* e *Atualegoria* ² enquanto o último experimento utilizou duas aplicações específicas para avaliação de características de design de interação com a mesa tangível.



O Eduba é uma plataforma digital para produção de recursos educacionais inclusivos baseados em mesa tangível. Essa plataforma foi contribuição da Tese de doutorado de Preuss et al. (2020) e tem como objetivo permitir que qualquer usuário sem profundos conhecimentos de programação (como um professor da educação básica, por exemplo) possa produzir uma aplicação para mesa tangível através do uso dessa ferramenta que funciona como um editor gráfico online (Figura 46). Ao produzir a aplicação no editor Eduba ele automaticamente gera um conjunto de arquivos reproduzível em um *player* próprio, o qual acessa as conexões com os *toolkits* de infraestrutura TUIO e reactVision.

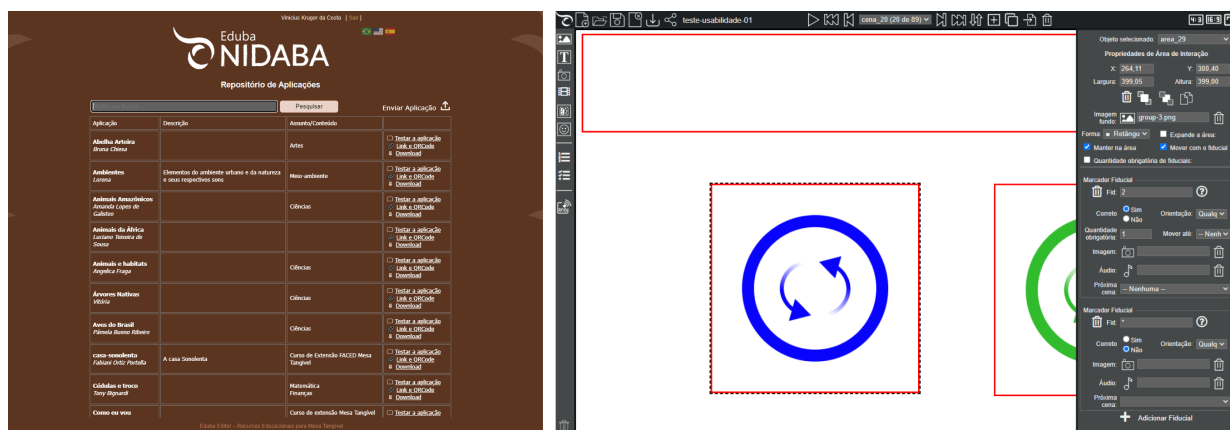


Figura 46 – Captura de telas do editor de aplicações para mesa tangível Eduba. À esquerda repositório de aplicações submetidas a plataforma e à direita uma tela interna do editor demonstrando sua interface gráfica. Fonte: Autor (2023)

Apesar de sua criação ter foco na educação inclusiva, o Eduba funciona como uma ferramenta de desenvolvimento que serve para qualquer tipo de aplicativo para mesa tangível. Ao desenvolver uma aplicação também é dada uma opção de envio da mesma para um repositório próprio de aplicações e, desse modo, oportuniza-se que qualquer aplicação desenvolvida através dessa ferramenta possa ser utilizada e

¹ <https://nidaba.online>

² Vídeo demonstrativo das aplicações *Colors* e *Atualegoria* disponível em <https://youtu.be/01lvGOuWIUI>

reproduzida em diversas outras mesas tangíveis com a mesma tecnologia de implementação (arquitetura).

A configuração da arquitetura de implementação de alto nível da mesa tangível é ilustrada pela Figura 47.

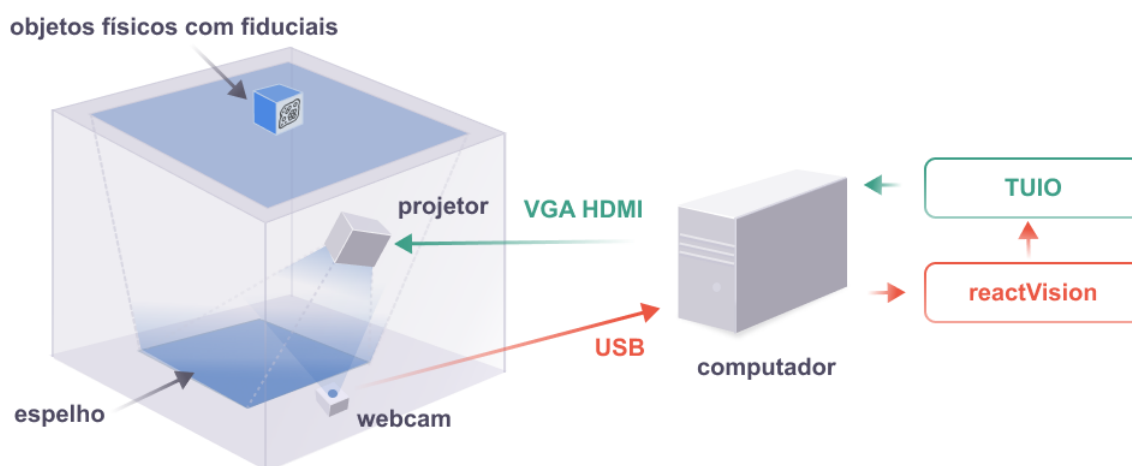


Figura 47 – Arquitetura de implementação da mesas tangíveis. Fonte: Autor (2022) baseado em Preuss et al. (2020)

5.2 Ciclo 01 - grupo focal

Dado que o público alvo do produto dessa Tese são os designers de interação, os quais irão projetar novas aplicações com essa dinâmica de IHC, o primeiro experimento foi um grupo focal que envolveu estudantes de Bacharelado em Design Digital, futuros designers.

De forma resumida, o contexto geral desse primeiro experimento pode ser descrita dessa forma:

- **Cenário de uso:** usuários ao redor da mesa tangível em um auditório;
- **Grupo de participantes/usuários:** dois grupos de 6 usuários cada;
- **Métodos e ferramentas:** Grupo focal e questionários Escala SUS e *AttrakDiff*.

O objetivo desse primeiro grupo focal foi **apresentar o que é interação tangível, seu funcionamento em uma mesa tangível e investigar como os usuários interagem com ela.**

O grupo focal ocorreu em maio de 2022, dentro da UFPel e envolveu 12 estudantes do curso de Design Digital, divididos em 2 grupos de 6 voluntários cada. Cada grupo foi mediado por um pesquisador que conduziu e organizou as discussões através de um roteiro pré-definido (Apêndice G), além de efetuar os registros em som e vídeo. A

seleção dos participantes se deu por conveniência e os dois grupos foram formados de modo aleatório.

Como o perfil de participantes do grupo focal foi delimitado a estudantes de graduação numa área relacionada ao campo de pesquisa, com conhecimentos sobre design de interação, foi solicitado que durante o processo de experimentação com a mesa tangível eles verbalizassem considerações sobre o processo, dificuldades que encontrassem durante o uso, com o olhar crítico de projetistas para além de simples usuários. Desse modo, o objetivo inicial de "experimentar essa interação" era expandido para interpretar e discutir como estruturar o design de interação nesse dispositivo.

A aplicação, denominada *Colors*, utilizada durante o experimento consistia basicamente na manipulação de *tokens* cúbicos de cores diferentes (azul, branco, vermelho, laranja, verde e amarelo) os quais deveriam ser colocados na mesa numa determinada ordem específica. Ao aparecer na tela a palavra "Azul" (Figura 48) os usuários deveriam colocar o manipulador que fosse dessa cor. Num segundo momento, a combinação de dois manipuladores era solicitada de forma que o resultado era o *feedback* da cor secundária originada dessa mistura (por exemplo, colocar azul e amarelo resultava na tela verde). Além dos manipuladores tangíveis cúbicos colocou-se também uma fruta (laranja com fiducial anexado) junto aos demais *tokens*.

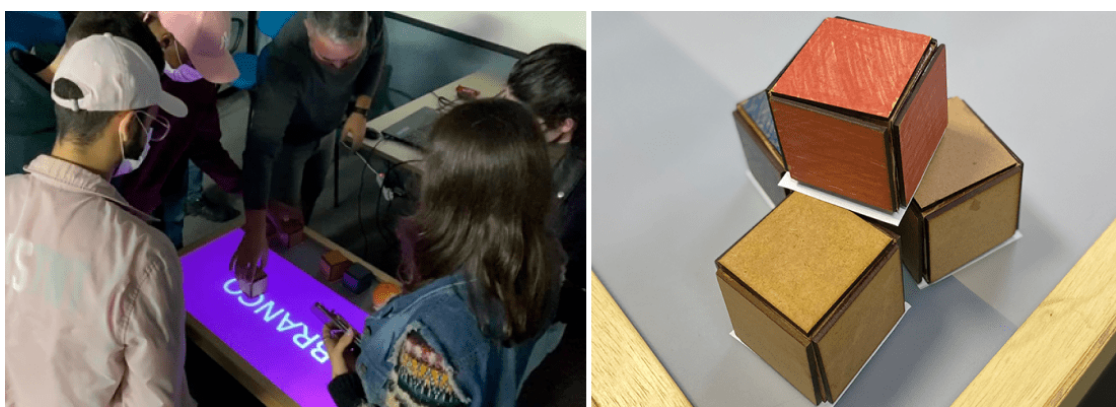


Figura 48 – Voluntários do grupo focal interagindo coletivamente com a mesa interativa tangível (à esquerda) e modelo de *tokens* utilizados (à direita). Fonte: Autor (2022)

Não havia instruções gerais dadas inicialmente na aplicação *Colors*, tampouco instruções de áudio ou texto de como deveriam ser as ações de interação. Por exemplo, deveriam colocar um *token* por vez ou todos simultaneamente? Deveriam retirar o anterior para colocar o novo solicitado?

Algumas perguntas gerais norteadoras da discussão foram pré-elencadas e eram feitas durante o andamento da atividade: Alguém aqui sabe o que é uma interação tangível? Já conheciam uma mesa tangível? Já mexeram em algum dispositivo similar a esse? Como acham que deve ser usado esse dispositivo? O que acreditam que é possível de implementar num dispositivo como esse? Que tipo de problema poderia ser solucionado com esse tipo de interação?

Todos os participantes afirmaram usar diversos dispositivos tecnológicos todos os dias, com diversos tipos de interfaces computacionais, como interfaces por voz em assistentes virtuais e interfaces naturais em jogos eletrônicos.

A faixa etária compreendida por todos os participantes vai de 18 a 24 anos, sendo que entre todos os participantes apenas um relatou de forma afirmativa ter interagido com uma mesa tangível similar a utilizada no experimento. Três participantes não sabiam definir, pois já haviam interagido em mesas com interfaces, porém acreditavam serem somente mesas interativas multitoque. Com isso percebe-se que, mesmo ao início do grupo focal haver uma explicação sobre o que é uma mesa tangível, existe uma falha de entendimento sobre a diferença entre essas e aquelas que permitem interação por multitoque.

E sobre a mesa tangível e os *tokens*?

Todos os participantes concordaram que o tamanho dos objetos manipuláveis, forma, cor, poderia impactar na experiência de uso da mesa tangível. **EXP 01** *"É interessante que esses tokens tenham um tamanho razoável para conseguirem ser pegos com apenas uma das mãos".* - falou um dos participantes.

As dificuldades iniciais geradas pelo dispositivo foram principalmente de calibragem para identificação dos fiduciais e de um certo *delay* entre a ação e reação da mesa. Isso foi percebido por um dos participantes e corroborado pelos demais.

EXP 02 O espaço para largar e pegar os manipuladores tangíveis também foi discutido nos grupos. Alguns participantes comentaram que, ao deixar sobre parte do tampo da mesa os *tokens*, havia uma melhor percepção de que eles deveriam ser utilizados no experimento do que se ficassem numa mesa ao lado, por exemplo. *"Como não recebi nenhuma instrução e vi aqui o objeto com um código no meio, pensei que deveria usar ele para interagir com a mesa"*- comentou um dos participantes.

Percepção espacial, algo influenciou?

A influência da **EXP 03** luminosidade foi um fator comentado por todos os participantes de modo geral. Por utilizar visão computacional, o ambiente controlado do experimento utilizou menos iluminação, o que gerou um certo incômodo nos participantes. *"Com menos luminosidade, dependendo de como forem os objetos, pode ficar mais complicado de identificar qual funciona para qual objetivo"* - relatou uma das participantes.

Um dos participantes que utilizava óculos relatou dificuldade de escolha/percepção entre os cubos com as cores "amarelo" e "laranja". *"Luz aqui está mais fraca, não consigo identificar aqui direito."* - relatou a participante corrigida pelos colegas.

EXP 04 Um dos participantes ficou incomodado com a altura da mesa, mesmo ficando todos os participantes em pé ao redor do dispositivo, percebeu-se que ele queria ficar sentado interagindo. Os demais participantes concordaram que a altura

era aceitável, que poderia ser um pouco mais alta, mas não era nada que comprometia a experiência. *"Temos que pensar que para uma criança essa seria uma boa altura, já para adultos e pessoas muito altas fica um pouco baixo."* - comentaram alguns participantes.

Sobre a dinâmica de interação colaborativa, cada um dos grupos adotou uma estratégia diferente. Enquanto no Grupo 1 todos tentaram interagir ao mesmo tempo, com a mesa, o Grupo 2 previamente pensou numa estratégia para alcançar um objetivo e depois executou a interação.

Processo de interação com a mesa

No Grupo 1, ao serem liberados para interagir com a mesa que tinha em seu tampo escrito "Azul", cada um dos usuários pegou um manipulador e colocou sobre a mesa. Como um deles era o *token* com azul, avançou-se a próxima tela que tinha escrita a palavra "Branco". Dessa forma começaram a se questionar se estavam agindo da forma correta, pois não ocorreu mais mudança de tela. *"Não está acontecendo nada pessoal, acho que temos que tirar eles e colocar de volta."* - falou uma das participantes.

Os participantes desse grupo ficaram ao redor da mesa de forma distribuída (Figura 48) **EXP 05** e sempre traziam os *tokens* em direção mais próxima ao seu corpo. Usaram gestos de pegar, largar, inicialmente, sem tentar arrastar ou rotacionar os manipuladores sobre o tampo. Como tentaram todos interagir simultaneamente, perceberam ser necessário algum nível de autoridade, ou seja, uma pessoa só comandando inicialmente a interação.

Ao perceber que posteriormente para cada ação dada gerava-se uma resposta na mesa, o Grupo 1 também começou a discutir se deveriam colocar um *token* por vez ou se deveriam colocar mais de um simultaneamente. Quando apareceu no tampo da mesa as palavras "Azul e Amarelo" novamente houve uma negociação entre os participantes - *"Acho que agora precisamos colocar esses dois, pessoal"* - disse uma das participantes.

Com o passar das telas, o Grupo 1 foi percebendo que dependendo do que a "mesa pedia" o processo de interação que eles deveriam dar era diverso. Quando chegaram na tela com a palavra "Laranja" novamente o grupo discutiu sobre o que deveriam fazer - *"Será que colocamos o amarelo e o vermelho, o cubo laranja ou a fruta laranja?"* - questionou uma participante. Após decidirem por colocar a fruta, eles foram direcionados a uma tela com imagens de várias laranjas. "Muito legal poder usar um objeto qualquer para fazer a interação, isso abre muitas possibilidades" - exclamou outro participante.

EXP 06 Observou-se que diante da dinâmica da aplicação e da necessidade de uma interação praticamente linear com a mesa não houve interações bimanuais ou

cruzadas, contudo foi comentado em ambos os grupos que essas características poderiam ser exploradas.

Enquanto o Grupo 1 teve uma curva de aprendizado em cima de erros que eles iam cometendo durante a execução das interações, o Grupo 2 agiu de uma forma bem diferente. Ao serem liberados para interagir com a mesa tangível, eles olharam a palavra "Azul" sobre a mesa e discutiram antes sobre o que devia ser feito. Desse modo foram ponderando cada uma das ações, chegando a se organizarem para cada um deles colocar um *token* por vez.

As mesmas dificuldades enfrentadas pelo Grupo 1, sobre retiradas dos manipuladores da mesa ou sobre a combinação deles para avançar na aplicação, ocorreu no Grupo 2. A diferença é que esse previamente discutia criticamente sobre qual seria a lógica de interação antes de executar a ação, enquanto o Grupo 1 agia na maioria das vezes na tentativa e erro.

Sobre não haver nenhum *feedback* sobre o processo de interação com a interface e a *affordance* dos *tokens*, os participantes de ambos os grupos fizeram algumas observações comuns apresentadas a seguir:

- **Feedback sonoro:** **EXP 07** Receber instruções de uso, ou até mesmo um retorno sonoro de acerto, ou erro a cada *token* que era colocado sobre a mesa ajudaria muito.
- **Feedback Visual:** Além de um reforço sonoro, ter animações ou transições entre as várias ações, tela poderia gerar retornos visuais para uma sensação de controle durante a interação.
- **O que faz cada token:** **EXP 08** Não ter clareza sobre o que fazia cada manipulador, se havia algum comando específico atrelado a cada um deles, se havia um deles que "zerava" o sistema, isso gerava uma insegurança com relação o processo de interação. Isso gerou comentários sobre que a *affordance* de cada manipulador poderia indicar o seu funcionamento, por exemplo, um em forma de borracha para apagar a tela.
- **O que faz cada usuário:** **EXP 05** Por permitir uma interface compartilhada e colaborativa, os participantes sempre negociavam de modo a se chegar num consenso para a ação, evitando desse modo interações cruzadas ou zonas de autoridade próximas a outros usuários.

Possíveis cenários de uso elencados pelos participantes

Foi também estimulado ao final da atividade que cada Grupo discutisse possíveis usos desse tipo de interação em atividades cotidianas. Alguns dos possíveis usos identificados pelos participantes:

"Talvez para organizar as obrigações diárias, como um planner, só que além de físico, integrasse com o digital."

"Pensei em algum checklist de tarefas diárias, mas não sei como seria aplicado, já que a mesa fica num lugar fixo."

"Acredito que dá para aplicar na interação de crianças x computador, com brincadeiras educativas e até no processo de aprendizagem na educação infantil."

"Queria poder desenhar com um objeto físico na mesa, algo que fosse tangível, mas que possibilitasse desenhar de um modo tridimensional."

"Eu vejo mais uso desse tipo de mesa em ambientes industriais e para arquitetura, para manipular plantas e ambientes quem sabe."

"Mapas, imagina possibilidade de interação com mapas através de vários tokens para montar estratégias, etc."

"Acho que uma boa aplicação seria acessibilidade, pois poderia ter um objeto físico impresso em 3D e aí ao colocar na mesa rolaria um áudio descrição detalhada."

Foi consenso nos dois grupos a dificuldade que seria projetar para esse dispositivo, pois não existem padrões ou modelos de referência, tais como existem nas GUI. Mesmo sendo uma interação mais "natural" era necessário um conhecimento maior sobre o dispositivo para poder se projetar para ele e ter algumas características e possibilidades de uso mapeadas ajudaria muito no design de interação.

5.3 Ciclo 02 - observações empíricas

A partir dessas premissas definidas: (a) espaço físico do Museu do Doce, (b) modo de interação com os *tokens* e a aplicação na mesa tangível e (c) perfil dos usuários visitantes, buscou-se conduzir uma observação por especialistas com uma pergunta norteadora: **"Como as pessoas interagiram com a mesa tangível?"** Desse modo, o principal objetivo desse experimento foi gerar percepções sobre a experiência que os usuários tiveram com esse tipo de interface e quais são os potenciais usos e limitações desse dispositivo. Não cabe aqui uma avaliação simples sob a ótica de funcionamento ou de conformidade de especificação, mas de qualificar o uso da mesa nesse contexto.

O contexto geral desse segundo experimento pode ser descrito dessa forma:

- **Cenário de uso:** visitantes do Museu do Doce interagem com a mesa tangível livremente;
- **Grupo de participantes/usuários:** em torno de 80 usuários observados e 25 deles respondendo questionário;
- **Métodos e ferramentas de avaliação:** observações de modo geral e aplicação de Escala SUS em um grupo menor.

A mesa tangível produzida foi inserida em um dos ambientes do Museu do Doce da UFPel. Esse espaço está atualmente situado na Praça Cel. Pedro Osório, número 8, em um casarão tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) pela sua relevância patrimonial histórica e arquitetônica. Esse museu funciona diariamente com visitação gratuita e está localizado no centro da cidade de Pelotas, com um fácil acesso à população, possibilitando bons números de visitação, justificando, dessa forma, sua escolha como espaço cultural para essa pesquisa.

Nesse contexto, julgou-se adequado colocar a mesa tangível dentro de uma das salas do museu em conjunto com uma exposição específica (Figura 49), tornando esse dispositivo relevante ao acervo disponível, contudo sem ser ela por si só a atração principal do espaço. Dessa forma, permitiu-se uma observação natural de como os usuários se relacionavam com tal forma de interação.



Figura 49 – Colocação da mesa tangível no espaço do museu Fonte: Autor (2022)

Além da tela pictórica principal da exposição (pintura ao fundo da Figura 49), a sala contém diversos outros elementos como: painéis com textos e imagens descritivas do quadro e seu contexto histórico social de produção, bancos para o visitante sentar e contemplar a tela, cubos de apoio para colocação dos *tokens* e ampla área de livre circulação com boa iluminação.

Design de interação da aplicação. Como projetar e usar os *tokens*?

Visando possibilitar aos visitantes do museu uma experiência com a mesa tangível, produziu-se uma aplicação (chamada de Atualegoria) relacionada à exposição contida naquele espaço. A aplicação consiste em partes “recortadas” da pintura exposta na sala funcionando como *tokens* de interação. Ao serem encaixados sobre o tampo da mesa, como em um quebra-cabeças, a mesa interativa tangível reproduz um áudio descritivo daquela parte visual encaixada, com uma explicação sobre os personagens e qual a leitura iconográfica dos elementos que estão ali representados (Figura 50).

Os *tokens* foram produzidos com recorte a laser em acrílico, com as imagens da



Figura 50 – Detalhe dos tokens (à esquerda) e usuários manipulando-os com a mesa tangível (à direita). Fonte: Autor (2022)

pintura em uma face e os fiduciais de reconhecimento para a mesa anexados na parte posterior. Esses *tokens* foram deixados num cubo ao lado da mesa tangível e somente havia instruções de uso escritas na parte superior da mesa, ou seja, não havia mediadores ou instrutores que explicavam anteriormente o uso.

Alguns dos *tokens* foram produzidos de forma que o usuário poderia encaixar mais de uma peça em um mesmo espaço, tendo descrições ou *feedbacks* diferentes da mesa conforme a escolha de cada um deles. Além disso, a dinâmica de visitação do museu não foi alterada em função da mesa, o que fez com que às vezes um único usuário interagisse com ela ou grandes grupos que manipularam vários *tokens* simultaneamente.

Com relação ao design de interação da Atual Alegoria, disponibilizada na mesa tangível, o processo de construção da aplicação foi realizado por duas estudantes de arquitetura utilizando a plataforma Nidaba (PREUSS et al., 2020). Ambas não detinham nenhum conhecimento de programação ou de como projetar para esse dispositivo e forma de interação.

Suas maiores dificuldades relatadas foram de entendimento da escala dos objetos físicos em relação ao espaço da mesa e do processo de funcionamento da mesa tangível em si. *"Só consegui entender mesmo o funcionamento depois que mexi nela, foi difícil entender por onde começar a ideia da aplicação. A gente começou pelo básico, que era um quebra-cabeça que todo mundo tem alguma familiaridade e de que pegar as peças poderia fazer sentido para os visitantes."* - comentou uma das estudantes.

Nenhuma dessas projetistas considerou aspectos como interação cruzada, autoridade ou refletiu sobre como as pessoas deveriam interagir em grupo ou isoladas. Só pensaram de forma mais básica na aplicação e a desenvolveram, quase que num

simulacro do que seria numa interface gráfica, só que com peças do quebra-cabeça de modo físico.

Resultado Escala SUS e observações gerais sobre o uso da mesa

Com relação à escala SUS, 25 visitantes (amostragem aleatória por conveniência) preencheram o questionário. Grande parte desses usuários têm entre 18 e 24 anos (52%); e de 25 a 39 anos (39%) sendo que nenhuma criança foi considerada nessa amostra, principalmente em função da dificuldade de entendimento com relação às perguntas do questionário. Apenas 2 usuários relataram já terem interagido com uma mesa similar em algum outro local, sinalizando o conceito de novidade para maioria da amostragem. O escore médio das avaliações na escala SUS foi de 83,8 pontos (com desvio padrão de 11,9 pontos para mais ou menos), o definindo como uma boa usabilidade, ou seja, as pessoas conseguiram usar a mesa interativa tangível para aquilo que tinham como entendimento acerca do seu funcionamento.

As observações seguiram um protocolo (Apêndice H) executado por um grupo de 3 pesquisadores que acompanharam a visita à sala com a mesa tangível em um período de uma semana (primeira semana de agosto/2022), totalizando em torno de 80 visitantes de idades variadas (grupos de crianças participaram).

Nesse protocolo havia um roteiro pré-estabelecido com algumas questões norteadoras a serem observadas e, conforme o andamento do uso da mesa, os usuários poderiam ser solicitados, conforme o seu desejo, a responder perguntas em uma entrevista aberta: “Como foi a primeira reação a interação com a mesa tangível? O que motivou o usuário a interagir com a mesa? Já usaram algum dispositivo similar a esse? Como se sentiram de maneira geral? O que achou da altura da mesa? O som ficou adequado? Luminosidade está de acordo? *tokens* estão no tamanho e forma adequados?”

Apenas 3 usuários, do total da amostra observada, foram diretamente interagir com a mesa tangível no espaço da sala, sendo que a grande maioria dos visitantes foi primeiramente olhar a pintura exposta, a qual tem um tamanho considerável (5 por 3,5 metros) e é o objeto principal de exposição na sala. Em torno de 70% das pessoas que entraram na sala no período observado interagiu com a mesa tangível.

Grande parte dos usuários tentou utilizar interação por toque junto ao tampo da mesa, já que os *tokens* disponíveis estavam num cubo ao lado da mesa. Ao não estabelecer a relação de uso entre os *tokens* e a mesa, os usuários buscaram a analogia mais próxima do seu uso cotidiano, que são as interações por toque e multitoque em seus *smartphones*. Ao perceberem o não funcionamento inicial, alguns poucos usuários leram as instruções sobre a mesa, enquanto outro grupo percebeu a relação entre os *tokens* e a mesa (peças no quebra-cabeça).

Ao ser utilizada por grupos de usuários, a interação com a mesa tangível e os *to-*

kens acontecia de forma colaborativa, normalmente com cada um do grupo colocando uma peça por vez e esperando sua reação. Normalmente os usuários ficam de um lado da mesa, até para poderem interagir com a mesa olhando para o quadro ao fundo ao mesmo tempo (Figura 51). Alguns usuários reclamaram do som baixo de *feedback*, diante das conversas de grupos maiores que estavam na sala simultaneamente. Já com relação à iluminação não houve nenhuma crítica, nem com relação à altura da mesa que funcionou tanto com grupos de adultos como com crianças.



Figura 51 – Visitantes interagindo com a aplicação na mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

EXP 09 A questão de acessibilidade a pessoas com deficiência visual surgiu como um dos aspectos mais relevantes nas observações, já que os *tokens* acionam um áudio com a descrição dos elementos da pintura em exposição. Durante o período de observações uma usuária com baixa visão que utilizou a mesa tangível conseguiu, através dessa experiência de uso, ter uma “visão” completa do quadro que estava a sua frente – *“Acho que poderia haver mais mesas como essa, eu enxergo muito pouco com um dos olhos e do outro sou cega, consegui enxergar a tela só através dessa tecnologia aqui, os pedaços de tela recortados (tokens) foram fáceis de manipular, pois podia pegá-los com a mão e trazer perto do olho que consigo enxergar e ao colocar na mesa a descrição me ajudou a entender melhor o quadro na totalidade.”*

As limitações observadas no uso da mesa tangível nesse espaço cultural educacional dizem mais respeito a questões técnicas de funcionamento (som baixo, problemas de calibração e identificação dos *tokens*) do que aspectos no contexto de interação dos usuários com o dispositivo. A colocação da mesa em frente ao quadro pictórico com uma aplicação que ampliou a experiência de uso com essa peça importante do acervo do museu foi elogiada pelos visitantes e sempre gerava atratividade de uso do dispositivo, o que justifica explorar cada vez mais seu uso nesse contexto.

5.4 Ciclo 03 - observações dirigidas

Esse terceiro ciclo de experimentos também teve como foco observações, porém com grupos dirigidos de estudantes da ciência e engenharia da computação. O objetivo era **observar o modo como especialistas em computação interagem com a mesa e como a suas perspectivas de desenvolvedores influenciava a visão de usabilidade e experiência de uso.**

De forma resumida esse ciclo pode ser descrito:

- **Cenário de uso:** grupos de estudantes de ciência e engenharia da computação convidados para participarem da atividade no museu;
- **Grupo de participantes/usuários:** 41 usuários divididos em 3 grupos;
- **Métodos e ferramentas de avaliação:** observações, aplicação de Escala SUS e questionário Attrackdiff.

Nessa rodada de observações a mesa tangível ainda se encontra dentro do espaço do Museu do Doce, contudo os grupos interagem sem interferência de visitantes externos e com o uso das aplicações utilizadas nos dois primeiros ciclos de experimentos (*Colors* e *Atualegoria*). Cada grupo interagiu com ordens alternadas de uso das aplicações, sendo que os grupos 1 e 3 num primeiro momento interagem com a *Atualegoria* para depois utilizarem a aplicação *Colors*. Já o grupo 2 interagiu em ordem inversa, com o objetivo de fazer um balanceamento amostral e ver se isso implicava nos testes de usabilidade com alguma variação estatística significativa.

As observações seguiam o mesmo protocolo definido para o segundo ciclo (Apêndice H) e contou com dois especialistas que registraram percepções via anotações e fotografias. Além desses registros, ao final o grupo era reunido em uma sala para preenchimento dos questionários Escala SUS e Attrackdiff para avaliar suas percepções acerca da interação com a mesa tangível, e não especificamente sobre uma ou outra aplicação.

Olhar de desenvolvedores

Enquanto o primeiro grupo focal foi direcionado a designers e o segundo experimento teve um perfil de público totalmente aleatório definido pelos visitantes do museu, nesse terceiro grupo de participantes a visão da mesa tangível é dada pela perspectiva de desenvolvedores.

Antes dos estudantes interagirem com a mesa tangível de forma livre e não guiada, foi apresentado a eles o processo de construção da mesa, tecnologias envolvidas e como funcionava o processo de interação. Posteriormente eles podiam ficar a vontade para interagir por uns 30 minutos com as aplicações que eram alternadas no dispositivo.

Em cada ação desenvolvida pelos grupos, através desse olhar da formação que desenvolvem, as observações eram mais no sentido do que funcionava e como. *"Se eu colocar todos os cubos devem travar o sistema, porque deve ter uma linha de interação, não tem como sistema processar tudo ao mesmo tempo"* - comentou um dos participantes.

Os 41 estudantes ficaram divididos em três grupos. Grupo 1 com 17 usuários; grupos 2 e 3 com 12 usuários cada. Como alertado nas limitações iniciais do trabalho, as dimensões físicas da mesa não permitiam que todos os usuários de um mesmo grupo interagissem ao mesmo tempo, na mesa, fazendo com que cada grupo demandasse subgrupos de 6 pessoas ou menos.

Interação colaborativa e pandemia

Um aspecto a destacar sobre o desenvolvimento desse experimento (setembro/2022) é que as regras sanitárias no momento de sua execução já estavam menos restritivas e o uso da máscara, por exemplo, era opcional e não mandatório no ambiente. Isso justificado por um cenário de vacinação avançado e de pandemia da COVID 19 controlada.

Isso é um detalhe percebido pelos especialistas e pode ter mudado a atitude comportamental dos participantes entre o primeiro experimento (maio/22) e esse. Os usuários, aparentemente, se sentiam mais a vontade de colaborar e interagir com o dispositivo e uns com os outros na medida que as condições da pandemia foram controladas, sem tantas barreiras sanitárias.

Experiência de interação com a mesa tangível

Diferentemente do primeiro experimento, os 3 grupos participantes dessa atividade tiveram um comportamento muito similar sobre o modo como interagir com a mesa tangível. Basicamente os usuários se colocavam ao redor da mesa e enquanto um ou dois usuários interagem (Figura 52), os demais colaboravam de forma verbal com instruções de como deveria ser executada essa ou aquela tarefa.

Na figura 52 percebe-se um dos grupos interagindo de maneira colaborativa com a mesa tangível, sem interação cruzada ou bimanual. Como não havia instruções de uso, eles se organizavam de modo que uma pessoa por vez tinha o comando da interação (autoridade) e os *tokens* sempre colocados mais próximos de onde estavam localizados ao redor da mesa.

Somente quando havia instrução de texto no tampo da mesa é que os participantes faziam manipulações diferentes do que pegar e soltar o *token*. Ao ler a instrução "posso me movimentar" escrita ao se colocar um manipulador na mesa, eles giravam e movimentavam o manipulador de modo mais "livre e natural".

Com o passar do tempo, o uso das aplicações foi ocorrendo de modo mais intuitivo, os grupos iam evoluindo no modo como interagiam com a aplicação e uns com



Figura 52 – Estudantes interagindo com mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

os outros. Conforme ilustrado na Figura 53, esse grupo começou a buscar arranjos de distribuição dos *tokens* conforme as instruções e *feedbacks* que apareciam na superfície da mesa. Na imagem à esquerda, ilustra-se uma interação cruzada com a busca pelos *tokens* do lado oposto da mesa, já na imagem à direita, na sequência do movimento, percebe-se duas pessoas lado a lado interagindo.



Figura 53 – Estudantes em dinâmica interagindo com a mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

EXP 08 Como já observado, apesar de apenas alguns interagirem com a mesa ao mesmo tempo, todos aos redor ficavam envolvidos durante o processo, "negociando" ações e dinâmicas sobre quais objetivos exercer, como alcançá-los. **EXP 10** A falta de um modelo mental ou de padrões de interação na memória desses usuários com relação ao uso da mesa interativa tornou a experiência menos intuitiva do que deveria ser, num primeiro momento, porém mais exploratória e lúdica.

Isso foi observado por um dos participantes: *"Apesar de ser mais intuitivo porque é só pegar o cubo e largar, tu não sabe muito bem o que dá para fazer com ele. No computador é mais fácil porque tu já sabe o que pode fazer com cada coisa."*

Escala SUS e experiência do usuário

Com relação à aplicação dos questionários a Escala SUS, pode-se perceber na Tabela 5 um valor aproximado entre os valores obtidos por cada um dos grupos. A variância

de respostas dentro de cada grupo permite algumas hipóteses para análise. Enquanto o Grupo 1 tem um "n" maior que os demais, o que geraria mais possíveis variações de respostas, o perfil que o compõe é formada por estudantes ingressantes na universidade, com pouco experiência ainda na área de computação e design de interação. Já o Grupo 3 além de ser uma amostra menor, são estudantes concluintes, o que lhes permite ter uma visão mais homogênea (menor variância) sobre uma dada tecnologia ou experiência, justamente por partilharem de uma trajetória maior na área.

Tabela 5 – Valores da Escala SUS entre os grupos

	Grupo		
	1	2	3
Escala SUS	75,9	83,5	82,9
Desvio Padrão	13,1	10,5	5,8
Mediana	80,0	86,3	85,0
n (usuários)	17	12	12

Foram aplicados alguns testes estatísticos para analisar se havia significativa variação entre os grupos que pudesse inviabilizar os valores das amostras na Escala SUS. Conforme Sauro; Lewis (2016), em casos de três ou mais grupos amostrais diferentes para comparação de dados com uma variável, duas abordagens estatísticas são possíveis, a comparação desses grupos com múltiplos testes *T Student* e aplicação de ANOVA (teste de análise de variância).

Foram aplicadas ambas abordagens, detalhadas no Apêndice I. Após a aplicação dos testes *T Student* percebeu-se que não houve diferenças significativas entre os grupos, sendo entre grupos 1 e 2 o valor de $p=0,105$; grupos 2 e 3 $p=0,858$ e grupos 1 e 3 $p=0,095$, validando as amostras com relação à percepção delas de usabilidade da mesa tangível (não ocorreram diferenças significativas onde $p > 0,05$). Já no teste ANOVA (análise de variância) o valor também comprova que as diferenças significativas entre os resultados dos grupos não foi significativa com $p=0,151$ (onde $p > 0,05$ demonstra que as diferenças não foram significativas).

Com relação aos resultados do questionário Attrackdiff que avaliam a experiência do usuário, os resultados também foram similares entre os grupos, conforme apresentado na Figura 54. No gráfico em formato de portfólio (à esquerda) vemos que os três grupos ficaram posicionados entre o campo de experiência neutra e desejável, com uma variação de respostas (retângulo transparente maior) que margeia os campos auto-orientado a orientado a tarefa.

Se formos para os valores no gráfico de eixos (à direita) percebemos uma tendência quando comparamos os três grupos, na qual valores de QH-S (Qualidade Hedônica de Satisfação) são os mais baixos e o eixo AT (Atratividade) geram valores mais altos.

O grupo 1 teve tendência a ser mais crítico, com os piores valores em cada um dos eixos, enquanto o grupo 3 conferiu as melhores médias no geral.

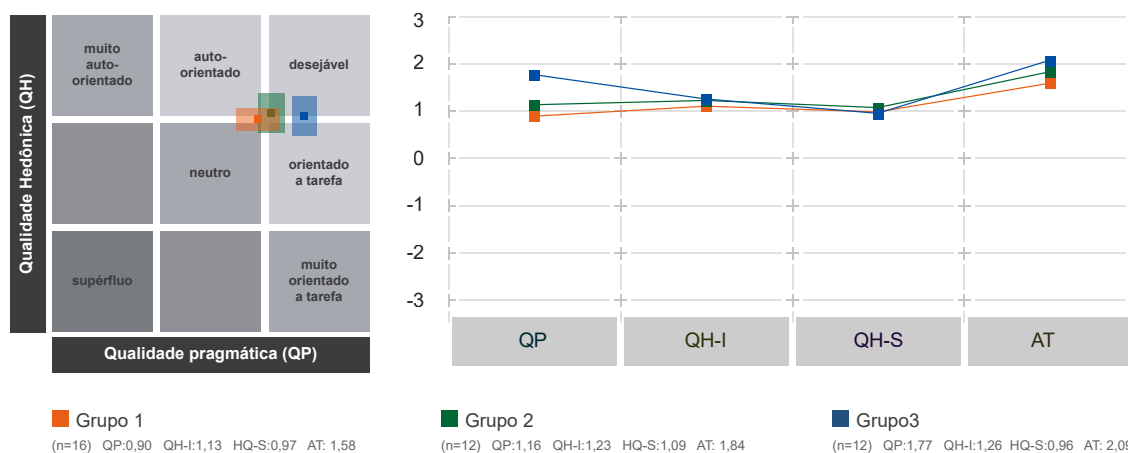


Figura 54 – Gráficos de experiência do usuário dos três grupos gerados pelo Attrackdiff. Fonte: Autor (2022)

A interpretação geral que pode ser dada ao gráfico é que os estudantes acharam a experiência mais atrativa (AT) do ponto de vista do uso da mesa tangível do que algo que seja prático (QP - Qualidade Pragmática) e/ou muito estimulante (QH-S).

Especificação de aplicações e o design de interação

O grupo 3, formado por estudantes concluintes dos cursos de ciência e engenharia da computação, receberam, dentro das suas atividades de sala de aula, a tarefa de documentar e especificar as aplicações executadas na mesa tangível dentro da perspectiva de engenharia de software. Observando o desenvolvimento dessa atividade, percebe-se a dificuldade existente de categorizar ou de desenhar as conexões entre os diversos elementos projetados durante a interação com a mesa tangível.

Um dos grupos de estudantes desenvolveu um diagrama de classes (Figura 55) que demonstra a observação de algumas características de implementação da interação tangível na mesa. O elemento "observador" representa a característica reativa e orientada ao rastreamento de eventos que podem acontecer de forma simultânea e não ordenada. Cada um desses eventos é colocado numa pilha gerenciada no elemento "processador". Chama também a atenção a representação do item "interface" criado pelos estudantes, no qual eles ilustram a multimodalidade (áudio e imagem) de *feedback* potencializada pela interação com o objeto físico na mesa.

Todas essas observações trazidas por essa atividade de sala de aula gerou o questionamento do quanto essa visão de engenharia de *software* poderia também auxiliar o processo de construção de uma aplicação para a mesa tangível. Com essa motivação esse grupo de estudantes foi convidado para uma oficina de criação de aplicativos para mesas tangíveis, simplesmente utilizando a suas experiências com o uso do dis-

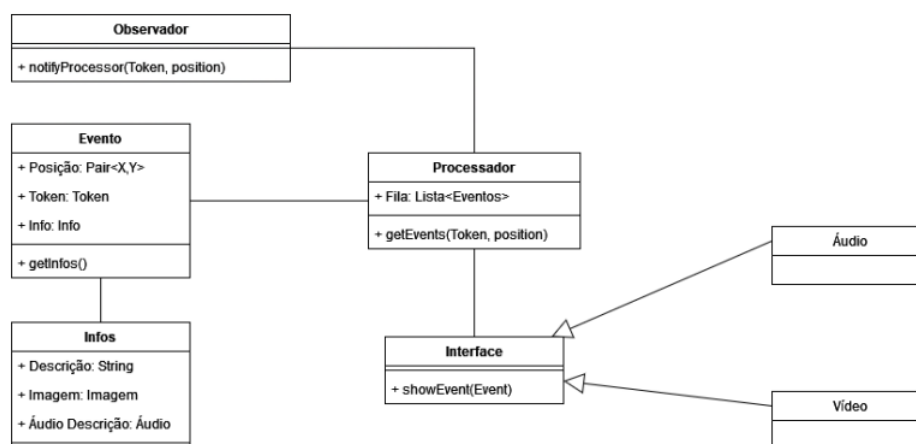


Figura 55 – Diagrama de classes feito pelos estudantes

positivo e com as discussões de sala de aula na disciplina de engenharia de software.

5.5 Ciclo 04 - oficina de criação de aplicação

Neste quarto ciclo de experimentos o objetivo era **observar como foi feito o design de interação de uma aplicação para mesa tangível em um determinado grupo de estudantes em computação**. Os estudantes do Grupo 3 do experimento anterior foram convidados para, em outra data, participarem de uma oficina de criação de aplicações para mesa tangível.

- **Cenário da atividade:** estudantes de ciência e engenharia da computação em sala de aula;
- **Grupo de participantes/usuários:** 16 estudantes;
- **Métodos e ferramentas de avaliação:** Oficina de cocriação com observações e entrevista aberta.

Os meios para representar a ideia dessa aplicação foram a utilização de protótipos desenhados em papel e uso de uma encenação para apresentação da lógica de funcionamento. Deveriam ser apresentados qual são os objetivos e público usuário da aplicação e que tipos de recursos específicos da mesa que estariam explorando. Não foi repassado ao grupo nenhuma diretriz projetual, orientação geral, foco ou área para desenvolverem suas ideias, sendo que a única premissa era a utilização de pelo menos dois *tokens* e que se caracterizem como uma interação tangível nesse modelo de mesa (*tokens* passivos com uso de CV).

Os 16 estudantes foram divididos em grupos de forma aleatória e tiveram 20 minutos para desenvolver a ideia, a qual foi apresentada na sequência junto a todo o grupo. A oficina foi conduzida por dois pesquisadores em setembro/2022 com registros feitos por anotações e imagens.

Das aplicações desenvolvidas, duas chamaram atenção. A primeira foi uma adaptação do jogo *Snake*³, disponível originalmente em GUI, para uso com interação tangível na mesa. Conforme ilustrado na Figura 56, os estudantes planejaram alguns recursos como uma área comum de *feedback* e uma área pessoal de controle (autoridade).

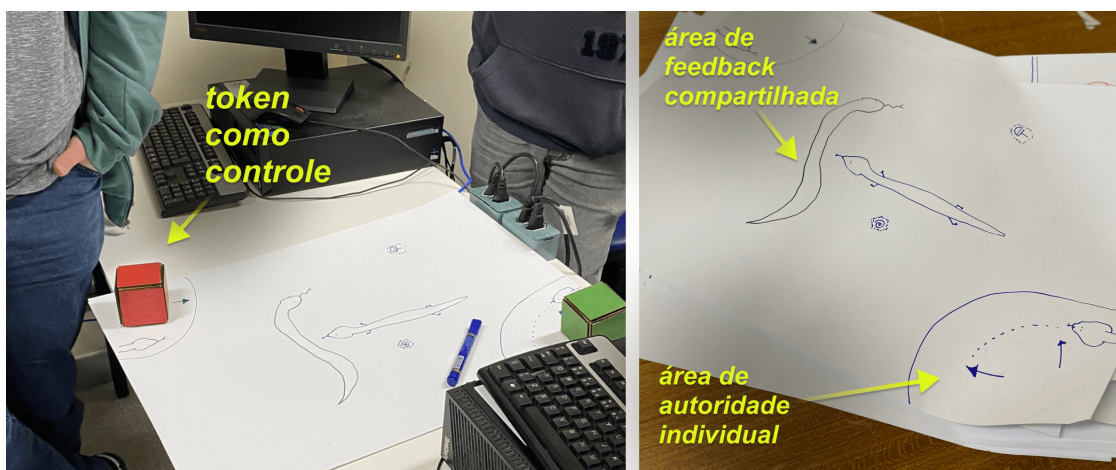


Figura 56 – Jogo *Snake* criado pelos estudantes para mesa tangível. Fonte: Autor (2022)

EXP 05 Na apresentação do grupo os estudantes comentaram que *"ao colocar cada um dos tokens na mesa abre-se uma área de controle individual na qual girando ele o usuário controla o movimento da sua cobra, isso permite que se jogue com múltiplos jogadores sem dar confusão"*. Questionou-se se aquele formato de *token* (cubos) da simulação favorecia o entendimento do que fazer com ele (colocar na mesa e girar). Eles responderam que não e que na ideia deles *"o token deveria ser circular como uma seta indicando que poderia ser girado, além de ter uma indicação de cores diferentes com cobras na parte superior para dar a ideia de vários jogadores"*.

Também foi questionado porque eles haviam pensado nessa área de autoridade individual e eles defenderam que *"ter essa zona individual de interação não gera mãos e braços se batendo, e até se possibilita usar as duas mãos no processo"*. Eles não haviam tido nenhuma orientação a respeito desses aspectos, mas comentaram que ao experimentar a mesa no ciclo anterior, empiricamente fazia algum sentido de que mãos e braços cruzados poderiam gerar uma confusão desnecessária. **EXP 11** O grupo também argumentou que poderiam delimitar a quantidade de jogadores pela quantidade de *tokens*, com no máximo 6 DOF pois parecia um número adequado de pessoas ao redor da mesa.

Questionou-se o grupo se não cogitaram utilizar os *tokens* como as próprias "co-

³Snake - O jogador controla uma longa e fina criatura que se arrasta pela tela, coletando comida (ou algum outro item), não podendo colidir com seu próprio corpo ou as "paredes" que cercam a área de jogo. Cada vez que a serpente come um pedaço de comida, sua cauda cresce, aumentando a dificuldade do jogo. O usuário controla a direção da cabeça da serpente (para cima, para baixo, esquerda e direita) e seu corpo segue.

bras” no jogo, ou se esse não poderia ter o formato de uma para facilitar a relação com o uso. *“Não pensamos nisso, até poderia ter no token esse formato de cobra mas acho que movimentar ele por toda a tela poderia dar muita confusão com espaço de interação.”* - disse um dos participantes.

Já a outra aplicação a destacar envolve o uso múltiplo de *tokens* com um único objetivo, mas múltiplos usuários. O projeto do jogo criado consiste em posicionar e rotacionar os *tokens* para levar o “feixe de luz” de um extremo a outro da mesa através do rebatimento do mesmo. Na Figura 57 vemos do lado esquerdo o grupo discutindo a criação da aplicação, e do lado direito como seria o uso dela com os *tokens* posicionados.

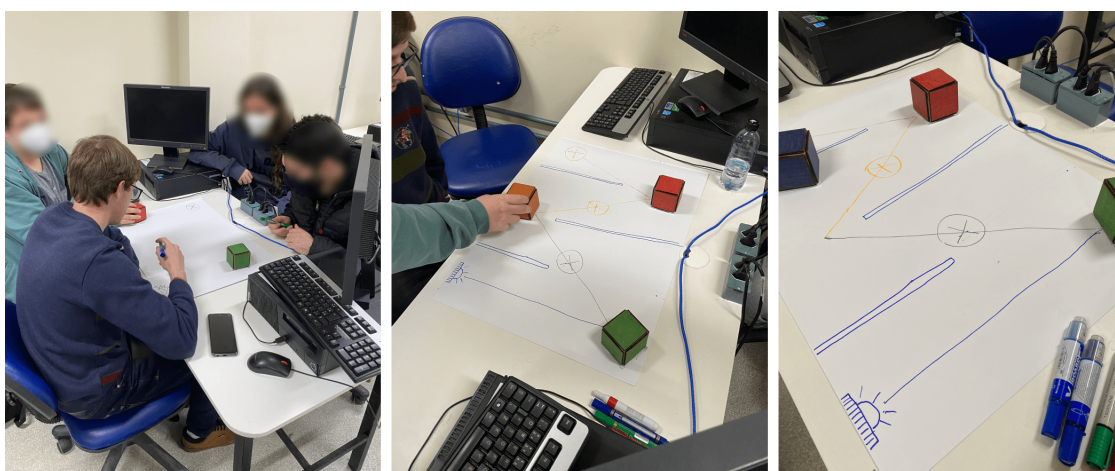


Figura 57 – Jogo desenvolvido pelos estudantes para mesa tangível durante oficina de criação.
Fonte: Autor (2022)

Segundo os estudantes, esse jogo possibilita que vários usuários interajam simultaneamente, com um único objetivo final, ao completar uma “missão” uma nova fase mais complexa surge na sequência. *“Cada vez fica mais complexo arranjar os tokens e conseguir passar de fase. Isso obriga as pessoas que estão jogando juntas a colaborarem cada vez mais, pois precisam ir mexendo ao mesmo tempo os tokens para dar certo.”* - explicou um dos membros do grupo.

EXP 12 Também foi questionado se usariam o *tokens* nesse formato de cubo e eles comentaram que *“não seria tão interessante, melhor seria um formato como se fosse algo estreito, dando a ideia de um espelho que reflete uma faixa de laser.”*

Ao final dessa atividade questionaram-se os estudantes sobre suas dificuldades para fazer o design de interação e o que acharam da experiência, quais pontos positivos identificaram no uso da mesa tangível.

Todos concordaram que já ter utilizado a mesa ajudou muito o entendimento do que era possível ou não executar em termos de interação. A lógica de implementação que desenvolveram com as atividades de sala de aula na disciplina de engenharia de software também auxiliou a organização das tarefas.

Mesmo eles não recebendo diretrizes projetuais, o grupo de modo geral desenvolveu um senso crítico sobre pontos-chave no design de interação. **EXP 13** A questão de múltiplos comportamentos dos *tokens* com interação continuada e distribuída foi percebida e, na medida do possível, tratada no projeto de criação dos grupos.

As características como interação cruzada e bimanual, graus de liberdade e autoridade e o arranjo dos usuários ao redor da mesa tangível não foram sistematizadas pelos grupos, mas durante as apresentações percebeu-se que algumas delas surgiram com nomes ou explicações diferentes.

Questionaram-se os estudantes se ter uma estrutura projetual ajudaria no processo de criação de aplicações para mesa tangível. O grupo respondeu que ajudaria, *"principalmente se houvesse a necessidade de projetar sem conhecer a mesa, mas que o ideal é conhecer ela."*

Ao final desse quarto ciclo de experimentos, genericamente desenvolvidos por observações gerais, uma lista de evidências foi elencada:

- **EXP 01** Tamanho dos *tokens* é relevante na medida que devem permitir interação com uma mão apenas, sem necessidade de interação bimanual.
- **EXP 02** Os manipuladores tangíveis precisam ter um espaço físico que seja próximo da área do tampo, para os usuários relacionarem o objeto a área de interação.
- **EXP 03** Espaço físico do entorno e os fatores ambientais, como luminosidade, barulho, impactam a percepção de uso da mesa, bem como identificação de funcionalidade dos tokens.
- **EXP 04** Altura da mesa tangível influencia o modo como a experiência de uso da mesma pode ser feita por diferentes usuários.
- **EXP 05** Definição de área pessoal e área compartilhada, além de nível de autoridade de controle da interação, auxilia a experiência de uso com a mesa tangível.
- **EXP 06** Interação cruzada e bimanual Foram citadas como características a serem consideradas no projeto de aplicações para mesas tangíveis.
- **EXP 07** *Feedbacks* visuais e sonoros auxiliam a sensação de controle e de segurança no uso da interação na mesa tangível.
- **EXP 08** Cada *token* deve deixar claro qual sua função no processo de interação com a mesa, sendo que suas características táteis, visuais devem colaborar nesse sentido.

- **EXP 09** Interação com a mesa tangível possibilita acessibilidade a certas camadas de informação, sendo potencializada pelo uso de vários sentidos, através da manipulação de um objeto físico (tátil), *feedback* sonoro e visual.
- **EXP 10** Não existência de um modelo de interação inicialmente dificulta entendimento de funcionamento da mesa tangível.
- **EXP 11** Delimitar o número de DOF restringe a quantidade de usuários que ficam ao redor da mesa e diminui a percepção de incerteza na interação.
- **EXP 12** O formato do *token* ter relação com o contexto da aplicação auxilia no entendimento do processo de interação.
- **EXP 13** Experiência prévia de uso do dispositivo de mesa tangível permite um entendimento melhor da lógica de projeto para interação com múltiplos *tokens*, comportamentos e usuários de forma continuada.

A próxima seção analisa todas as evidências já levantadas até aqui na Tese, originadas da teoria, das entrevistas com especialistas e com os quatro ciclos iniciais de experimentos, visando criar categorias de análise para a interação com a mesa tangível e que possam, posteriormente, fundamentar o *framework* DIMETA.

5.6 Categorias para análise de interação na mesa tangível

Como já discutido, os *frameworks* apresentados anteriormente com foco em TUI (ver item 3.2.2) geram um suporte conceitual robusto ao desenvolvimento da área de interação tangível, porém não oferecem ferramentas práticas específicas para o projeto de aplicações em mesa tangível.

O TAC (SHAER et al., 2004) e o modelo MCRpd (ULLMER; ISHII, 2000) são estruturas aplicáveis num plano prático dos objetos físicos sobre a mesa tangível, enquanto a proposta de interação baseada em realidade (JACOB et al., 2008) busca estabelecer uma relação dos usuários e sua percepção intuitiva de manipular objetos, de entender seu corpo em relação ao espaço e o próprio entorno do dispositivo. A Figura 58 propõe o encadeamento dessas estruturas conceituais e pode-se perceber que existe uma relação entre elas.

A partir dessa relação dos *frameworks* conceituais, em conjunto com os indícios encontrados na pesquisa até o momento, busca-se identificar elementos/características a serem analisadas no processo de interação com uma mesa tangível. Esses elementos são importantes, pois geram a possibilidade de análise através de um conjunto de atributos que são verificados no próximo ciclo de experimento, com objetivo de validação ou não desses, para, por fim, gerar as diretrizes *framework* de design de interação DIMETA.

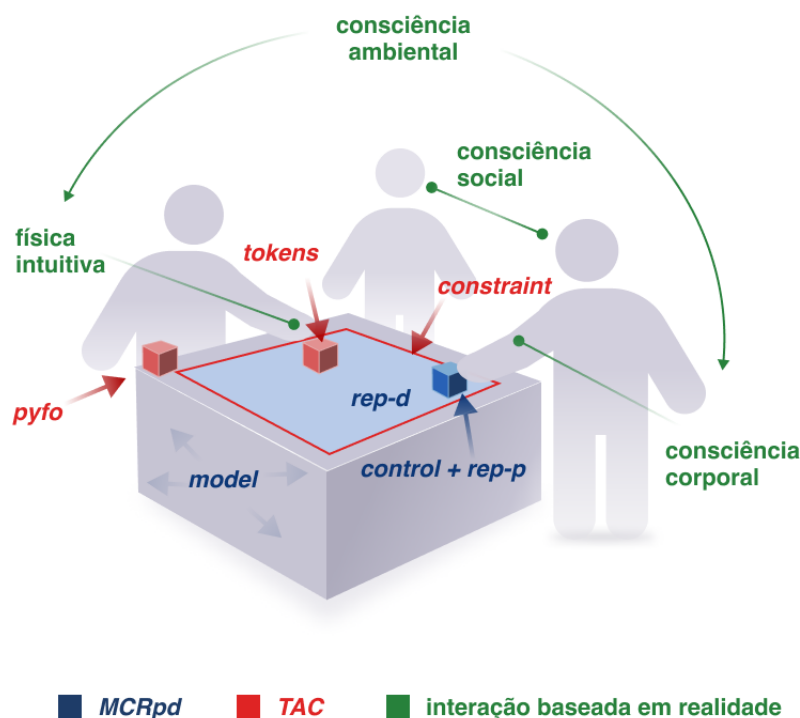


Figura 58 – Aplicações de *frameworks* TAC, MCRpd e interação baseada em realidade no contexto da mesa tangível. Fonte: Autor (2023)

Pode-se agrupar as evidências encontradas no desenvolvimento da tese em três grupos de elementos envolvidos no processo de interação. Um grupo diz respeito aos *tokens*, *pyfos*, *control + rep-p*, com a questão da física intuitiva, ou seja, tudo que for mais diretamente ligado ao manipulador tangível em si (*affordance*). Um segundo grupo de evidências é relacionado ao *constraint* (restrições), tem relação com a consciência corporal, ou seja, como o corpo (braços e mãos) se organiza sobre e ao redor da área do tampo da mesa, além dos aspectos de consciência social que se modificam como consequência disso. Também como o próprio tampo da mesa manifesta a representação digital (*rep-d*) do *feedback* no processo de interação. Por fim, um terceiro grupo de evidências se relaciona a consciência ambiental e em como os fatores externos ao *token* e o *constraint* podem influenciar a experiência de usuário com a mesa tangível.

Algumas das evidências encontram-se em mais de um grupo e serão colocadas em ambos para efeito de análise. Com relação ao primeiro grupo relacionado ao *token* temos as seguintes evidências encontradas:

- **LIT 01** Uma TUI permite a manipulação de diferentes objetos que possibilitam diversas ações, sem uma ordem definida. O design dos objetos manipuláveis na interface orienta o usuário como interagir e qual objeto serve para qual ação.
- **LIT 03** Representação físicas possibilitam o controle da interação e estão diretamente relacionadas a natureza das informações digitais, assumindo por vezes

suas características.

- **LIT 04** Os objetos físicos que controlam a interação (*pyfo*) tem suas características definidas como informação digital (*token*) em uma área física (espaço) de interação (*constraint*), possibilitando um arranjo para melhor organização das ações num dado tempo.
- **LIT 05** Proposição da tese dá conta da utilização de *tokens* passivos, possibilitando o uso de qualquer objeto físico com o fiducial anexo a ele em local identificável.
- **LIT 06** Os *tokens* são os controles principais de interação com a mesa tangível, pois são os objetos físicos que diretamente podem manipular os dados digitais.
- **LIT 10** Cada *token* inseridos no projeto da aplicação para mesa tangível é um grau de liberdade a mais em escala de interações, o qual executa ações individualmente e em conjunto com os demais *tokens* numa dada linha do tempo.
- **LIT 11** Oferecer uma quantidade limitada de graus de liberdade podem proporcionar aos usuários uma sensação maior de controle.
- **LIT 15** Diretrizes geradas por Manshaei et al. (2019) foram criadas dentro do contexto de estudo desenvolvido por aquela pesquisa, contudo são possíveis indícios para construção de diretrizes semelhantes no âmbito desse estudo.
- **LIT 17** Observância a mínimos critérios sanitários para o projeto de design de interação em interfaces tangíveis para mesas deve ser considerado, dado cenário vivido durante a pandemia de COVID-19
- **ESP 02** Definição do *token* como aspecto inicial do desenvolvimento do conceito da aplicação, o objeto que vai ser o manipulador tangível por si só deve conferir uma série de atributos inerentes ao seu uso na interação.
- **ESP 03** Utilização dos vários sentidos no desenvolvimento de uma aplicação para interface tangível para uma mesa possibilita acessibilidade a pessoas com capacidades diversas.
- **ESP 04** Orientação e tamanho dos elementos gráficos no tampo da mesa devem fazer sentido para os usuários que se encontram mais próximos a eles. Local onde o usuário larga o *token* deve auxiliar nesse sentido.
- **ESP 06** Muitos usuários têm dificuldade de memorizar ações com algo que não estão acostumados.

- **ESP 07** Para cada grupo de usuários diferentes (se adultos ou crianças, por exemplo) os objetos físicos escolhidos como *tokens* pode ter significados diferentes. Considerar esse perfil na escolha do objeto manipulador.
- **ESP 09** É preciso considerar os aspectos táteis, como textura, tamanho, forma e cores na escolha do manipular tangível. Importante considerar o que as pessoas gostam ou não de "pegar".
- **EXP 01** Tamanho dos *tokens* é relevante na medida que devem permitir interação com uma mão apenas, sem necessidade de interação bimanual.
- **EXP 08** Cada *token* deve deixar claro qual sua função no processo de interação com a mesa, sendo que suas características táteis, visuais devem colaborar nesse sentido.
- **EXP 09** Interação com a mesa tangível possibilita acessibilidade a certas camadas de informação, sendo potencializada pelo uso de vários sentidos, através da manipulação de um objeto físico (tátil), *feedback* sonoro e visual.
- **EXP 10** Não existência de um modelo de interação inicialmente dificulta entendimento de funcionamento da mesa tangível.
- **EXP 11** Delimitar o número de DOF restringe a quantidade de usuários que ficam ao redor da mesa e diminui a percepção de incerteza na interação.
- **EXP 12** O formato do *token* ter relação com o contexto da aplicação auxilia no entendimento do processo de interação.

O segundo grupo de evidências relacionado ao *constraint*, a consciência corporal em relação ao tampo da mesa e social das relações entre os usuários:

- **LIT 02** Interação tangível está além da manipulação com uso do corpo de objetos físicos/digitais, há que se considerar as características e expressividade desses manipuladores, o espaço do entorno no qual a interface está inserida e a habilidade social de interação que permite o uso de diversos usuários simultaneamente.
- **LIT 07** Configurações das pessoas ao redor da mesa tangível gera determinadas situações que afetam o modo como cada uma delas interage com a interface.
- **LIT 07** Manipulação bimanual pode influenciar no modo como as tarefas e atividades são executadas na mesa tangível, pois permite paralelizar certas ações, melhorando produtividade diminuindo carga cognitiva.

- **LIT 09** Interação cruzada (braços e mãos de múltiplos usuários se colidirem sobre os demais) pode gerar possíveis interferências na interação com a mesa tangível, atrapalhando entendimento e controle das ações.
- **LIT 10** Cada *token* inseridos no projeto da aplicação para mesa tangível é um grau de liberdade a mais em escala de interações, o qual executa ações individualmente e em conjunto com os demais *tokens* numa dada linha do tempo.
- **LIT 12** Mesas tangíveis, justamente por permitirem múltiplas entradas de dados com vários usuários atuando simultaneamente, devem através de suas aplicações mediar as relações entre os usuários-usuários como também entre usuários-sistema.
- **LIT 13** Diversos arranjos de posicionamento das pessoas ao redor da mesa tangível impacta no processo de interação compartilhada, em como elas delimitam seu espaço pessoal (próximo a si) e a área compartilhada.
- **LIT 15** Diretrizes geradas por Manshaei et al. (2019) foram criadas dentro do contexto de estudo desenvolvido por aquela pesquisa, contudo são possíveis indícios para construção de diretrizes semelhantes no âmbito desse estudo.
- **LIT 17** Observância a mínimos critérios sanitários para o projeto de design de interação em interfaces tangíveis para mesas deve ser considerado, dado cenário vivido durante a pandemia de COVID-19
- **ESP 01** Desconhecimento do dispositivo não deveria ser barreira para utilização de uma interação baseado na vivência prévia que se tem com objetos reais.
- **ESP 03** Utilização dos vários sentidos no desenvolvimento de uma aplicação para interface tangível para uma mesa possibilita acessibilidade a pessoas com capacidades diversas.
- **ESP 04** Orientação e tamanho dos elementos gráficos no tampo da mesa devem fazer sentido para os usuários que se encontram mais próximos a eles. Local onde o usuário larga o *token* deve auxiliar nesse sentido.
- **ESP 05** Falta de uma dinâmica consolidada de interação bi-manual com interfaces compartilhadas gera incertezas na ação com os manipuladores tangíveis.
- **ESP 06** Muitos usuários têm dificuldade de memorizar ações com algo que não estão acostumados.
- **EXP 02** Os manipuladores tangíveis precisam ter um espaço físico que seja próximo da área do tampo, para os usuários relacionarem o objeto a área de interação.

- **EXP 04** Altura da mesa tangível influencia o modo como a experiência de uso da mesma pode ser feita por diferentes usuários.
- **EXP 05** Definição de área pessoal e área compartilhada, além de nível de autoridade de controle da interação, auxilia a experiência de uso com a mesa tangível.
- **EXP 06** Interação cruzada e bimanual Foram citadas como características a serem consideradas no projeto de aplicações para mesas tangíveis.
- **EXP 07** *Feedbacks* visuais e sonoros auxiliam a sensação de controle e de segurança no uso da interação na mesa tangível.
- **EXP 09** Interação com a mesa tangível possibilita acessibilidade a certas camadas de informação, sendo potencializada pelo uso de vários sentidos, através da manipulação de um objeto físico (tátil), *feedback* sonoro e visual.
- **EXP 10** Não existência de um modelo de interação inicialmente dificulta entendimento de funcionamento da mesa tangível.
- **EXP 11** Delimitar o número de DOF restringe a quantidade de usuários que ficam ao redor da mesa e diminui a percepção de incerteza na interação.
- **EXP 13** Experiência prévia de uso do dispositivo de mesa tangível permite um entendimento melhor da lógica de projeto para interação com múltiplos *tokens*, comportamentos e usuários de forma continuada.

O terceiro grupo de evidências relacionadas a consciência ambiental e aos fatores externos ou ao redor da mesa tangível.

- **LIT 02** Interação tangível está além da manipulação com uso do corpo de objetos físicos/digitais, há que se considerar as características e expressividade desses manipuladores, o espaço do entorno no qual a interface está inserida e a habilidade social de interação que permite o uso de diversos usuários simultaneamente.
- **LIT 07** Configurações das pessoas ao redor da mesa tangível gera determinadas situações que afetam o modo como cada uma delas interage com a interface.
- **LIT 13** Diversos arranjos de posicionamento das pessoas ao redor da mesa tangível impacta no processo de interação compartilhada, em como elas delimitam seu espaço pessoal (próximo a si) e a área compartilhada.

- **LIT 14** Mesas tangíveis são equipamentos grandes e sensíveis; por isso, estão colocados dentro de espaços físicos fechados com fatores ambientais controlados.
- **LIT 16** Altura e dimensões da mesa tangível, tamanho e material dos *tokens*, iluminação do ambiente, são fatores que podem influenciar na experiência de uso, portanto devem ser considerados durante etapa de design da aplicação.
- **LIT 17** Observância a mínimos critérios sanitários para o projeto de design de interação em interfaces tangíveis para mesas deve ser considerado, dado cenário vivido durante a pandemia de COVID-19
- **ESP 01** Desconhecimento do dispositivo não deveria ser barreira para utilização de uma interação baseado na vivência prévia que se tem com objetos reais.
- **ESP 03** Utilização dos vários sentidos no desenvolvimento de uma aplicação para interface tangível para uma mesa possibilita acessibilidade a pessoas com capacidades diversas.
- **ESP 08** A configuração de infraestrutura utilizada no dispositivo e os fatores ambientais ao redor afetam diretamente a experiência de uso da mesa tangível.
- **EXP 02** Os manipuladores tangíveis precisam ter um espaço físico que seja próximo da área do tampo, para os usuários relacionarem o objeto a área de interação.
- **EXP 03** Espaço físico do entorno e os fatores ambientais, como luminosidade, barulho, impactam a percepção de uso da mesa, bem como identificação de funcionalidade dos tokens.
- **EXP 04** Altura da mesa tangível influencia o modo como a experiência de uso da mesma pode ser feita por diferentes usuários.
- **EXP 06** Interação cruzada e bimanual Foram citadas como características a serem consideradas no projeto de aplicações para mesas tangíveis.
- **EXP 07** *Feedbacks* visuais e sonoros auxiliam a sensação de controle e de segurança no uso da interação na mesa tangível.
- **EXP 08** Cada *token* deve deixar claro qual sua função no processo de interação com a mesa, sendo que suas características táteis, visuais devem colaborar nesse sentido.

- **EXP 09** Interação com a mesa tangível possibilita acessibilidade a certas camadas de informação, sendo potencializada pelo uso de vários sentidos, através da manipulação de um objeto físico (tátil), *feedback* sonoro e visual.
- **EXP 10** Não existência de um modelo de interação inicialmente dificulta entendimento de funcionamento da mesa tangível.
- **EXP 11** Delimitar o número de DOF restringe a quantidade de usuários que ficam ao redor da mesa e diminui a percepção de incerteza na interação.
- **EXP 12** O formato do *token* ter relação com o contexto da aplicação auxilia no entendimento do processo de interação.
- **EXP 13** Experiência prévia de uso do dispositivo de mesa tangível permite um entendimento melhor da lógica de projeto para interação com múltiplos *tokens*, comportamentos e usuários de forma continuada.

Baseado nesses grupos de evidências pode-se criar algumas categorias de análise para avaliar a experiência com uso em uma mesa tangível. Com relação aos ***tokens*** (física intuitiva) alguns dos atributos que foram levantados:

- forma (*affordance* e o significado contido nela),
- textura,
- cor,
- tamanho,
- material,
- graus de liberdade (quantidade de *tokens*),
- *feedback* gerados no próprio token,
- tipo de ação executada relacionado a cada tipo de movimento sobre a mesa ou relação a outro *token*,
- forma dos *tokens* relacionados aos tipos de ações possíveis de serem executadas com eles;
- aspectos sanitários em cenários de pandemia.

Os atributos relacionados ao ***constraint*** e a consciência corporal são:

- quantidade e arranjo (configuração) das pessoas ao redor da mesa,
- manipulação bimanual, mão dominante, antropometria
- interação cruzada,
- autoridade - área comum x área pessoal,

- orientação e disposição dos elementos em relação a mesa tangível.
- *feedback* gerados pela mesa tangível,
- aspectos sanitários em cenários de pandemia.

Já em relação aos **fatores ambientais** do espaço ao redor (consciência ambiental) pode-se enumerar:

- espaço disponível ao redor,
- iluminação,
- som,
- altura da mesa,
- aspectos sanitários em cenários de pandemia.

Cruzando esses grupos de atributos em relação aos elementos que constituem a experiência de uso da mesa tangível pode-se desenhar uma estrutura inicial de análise, ilustrada no mapa mental⁴ da Figura 59.



Figura 59 – Mapa mental de relacionamento de atributos para análise de design de interação em mesa tangível. Fonte: Autor (2023)

⁴Disponível também em <http://bit.ly/3ZNaKnC>

5.7 Ciclo 05 - análise de características para interação na mesa

Nesse quinto experimento propõe-se uma abordagem quali-quantitativa dos dados coletados **com o objetivo de conferir base científica da prática à construção das orientações que constituem o *framework* DIMETA.**

De modo geral pode-se delimitar esse experimento da seguinte maneira:

- **Cenário da atividade:** estudantes e visitantes em geral no Museu do Doce;
- **Grupo de participantes/usuários:** 52 participantes;
- **Métodos e ferramentas de avaliação:** Observação por especialistas, questionário específico construído e teste de usabilidade baseado em realização de tarefas.

Durante o desenvolvimento desse experimento (fevereiro de 2023) os protocolos sanitários de prevenção ao vírus COVID 19 já não foram mais obrigatórios, sendo totalmente opcional o uso de máscaras. Contudo, cabe ressaltar que ainda há manipulação de objetos físicos e isso demanda alguns cuidados que devem ser considerados pelos projetistas, como uso do material utilizado nos *tokens* ou no fornecimento de possibilidades de higienização das mãos após o uso.

Uma aplicação específica foi desenvolvida para avaliar as características de interação com a mesa tangível⁵. Os visitantes do Museu do Doce eram convidados em **grupos de 4 pessoas** a participar, mediante leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Cessão de direito de uso de gravação e registro de entrevista para fins educacionais/científicos (**Apêndice C**). O Roteiro do Experimento para Avaliação de características de design de interação com a mesa tangível (**Apêndice J**) detalha todas as etapas do ciclo de modo a conferir uniformidade entre as amostras.



Quarenta participantes (amostragem aleatória por conveniência) responderam o Questionário de Avaliação de características de design de interação com a mesa tangível (**Apêndice K**). Os participantes tinham em torno de 10 minutos para interagir com o aplicativo demonstrativo e introdutório que auxiliava o entendimento de como a mesa tangível funcionava, permitindo, desse modo, experimentar diversas formas de manipulação com *tokens* de diferentes formatos.

As perguntas do questionário foram divididas em alguns tópicos: (a) dados contextuais dos usuários como idade, sua experiência de uso com tecnologia; (b) relativas ao *token* e a consciência de física intuitiva em relação a ele; (c) ao *constraint* (tempo da

⁵Vídeo demonstrativo da aplicação utilizada nesse experimento disponível em <https://youtu.be/noZvoZ8pd0>

mesa) e a consciências corporal e social de uso desse espaço ao redor da mesa e (d) fatores ambientais que podem influenciar a experiência de uso de uma mesa tangível interativa. Quase todas as questões dos grupos "b, c e d" foram formatadas numa Escala *Likert* com frases que deveriam ser classificadas com valores de 1 a 5 entre "Concordo totalmente" (5) e "Discordo totalmente" (1).

Com base nas respostas dessa Escala *Likert* aplicou-se o teste estatístico de Alfa de Cronbach (α) para verificar a confiabilidade (numa escala entre 0 e 1 o resultado foi valor de $\alpha = 0.844$), garantindo a validade e consistência interna do questionário e suas respostas (SAURO; LEWIS, 2016). Uma série de outros testes estatísticos estabelecendo co-relações e comparações entre os diversos grupos de participantes e perguntas está detalhado no **Apêndice L**.

As observações foram utilizadas de modo associado aos dados quantitativos e seguiram o protocolo definido para o segundo ciclo (**Apêndice H**), contando com dois especialistas que registraram percepções através de anotações, fotografias e vídeos. Além desses registros também foi utilizado um software de gravação de tela utilizado para captar as imagens do tampo da mesa, com objetivo de verificar com precisão os tempos dispendidos entre cada uma das tarefas executadas.

Com relação aos dados gerais dos participantes, a maioria está na faixa etária de 18 a 24 anos (60%), o que se deve a característica principal dos visitantes do museu, que são estudantes universitários. No entanto, também houveram participantes com idade entre 40 e 59 anos, e até acima de 60 anos. Algumas crianças também participaram, embora não tenham respondido ao questionário, sendo apenas observadas pelos especialistas.

Somente 2 usuários declararam possuir alguma deficiência, sendo que ambos tinham deficiência de acuidade visual em um dos olhos. 90% dos respondentes têm a mão direita como dominante, sendo que de modo geral, como verificado numa questão a seguir, 82,5% utiliza a mão dominante como aquela que dá início a processo de interação pegando o *token*.

Utilizam computadores cotidianamente 80% dos respondentes, quase 58% dos participantes utilizaram alguma interação não convencional (por voz ou gestos) pelo menos uma vez, sendo que outros 28% já as utilizam regularmente. Com relação à mesa tangível, 80% dos participantes nunca utilizou e 7 usuários já haviam utilizado em alguma visita anterior ao museu.

Especificação da aplicação e configuração de uso na mesa tangível para o experimento

Num primeiro momento os participantes interagem com a mesa com o auxílio de um mediador quando requisitado. Esse tutorial inicial consistia em uma passagem de interações que convidavam os usuários a colocar os objetos tangíveis sobre a mesa, com

movimentos de arrastar e rotacionar os *tokens*. Os participantes eram estimulados por áudio e textos e, com a manipulação dos objetos sobre a mesa, perceber como ela reagia a tudo (Figura 60).

Foi um momento de aprendizado básico do processo de entender o modelo mental exigido pelo dispositivo e que, após conhecido, foi classificado como "muito fácil de usar" pelos usuários. Com essa abordagem buscou-se mitigar o desconhecimento do dispositivo relatado anteriormente como ponto crítico para experiência de interação com a mesa tangível.

Os *token* são passivos, coloridos e com formato cúbico, mas também haviam outros que eram frutas, garrafas de refrigerante, brinquedos de pelúcia e caixas de medicamentos que quando solicitadas deveriam ser usadas na interação com a mesa.

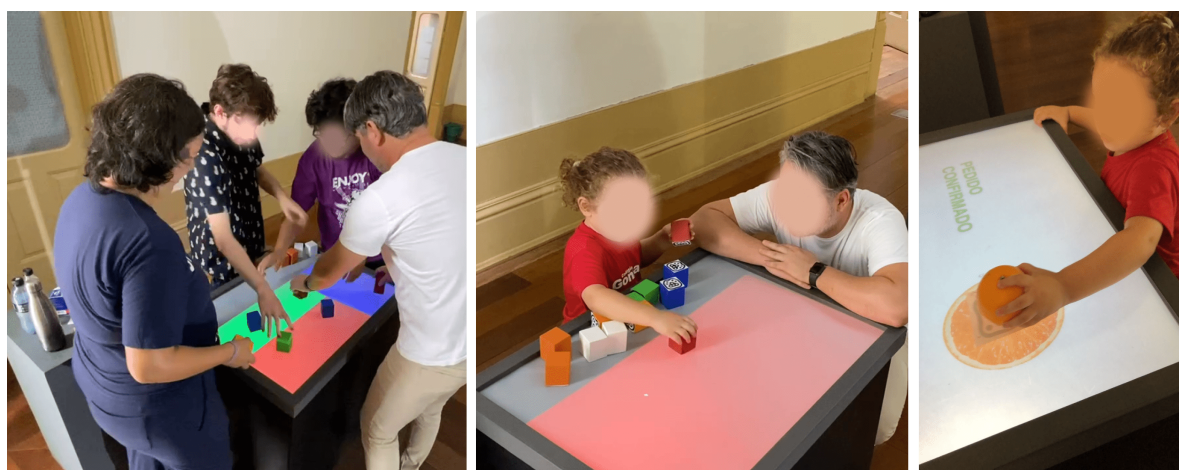


Figura 60 – Aplicativo do experimento sendo utilizado por usuários. Fonte: Autor (2023)

Posterior ao uso livre da mesa tangível, os usuários participavam de um teste de usabilidade (52 participantes divididos em 13 grupos), voltado exclusivamente a resolução de tarefas, que podiam envolver entre dois a quatro usuários, utilizando uma ou as duas mãos. A disposição dos participantes nessas tarefas ao redor da mesa foi estipulada conforme o ilustrado na Figura 61 e cada um deles devia utilizar somente os dois *tokens* coloridos correspondentes ao seu lado da mesa.

O teste consistia em colocar os *tokens* de cada cor nos locais exatos no tampo da mesa que tinham retângulos da mesma cor. Ao resolver a tarefa uma próxima se apresentava e assim sucessivamente até o fim do ciclo. Conforme demonstra o vídeo do experimento⁶, cada tarefa exigia que o usuário colocasse os *tokens* no local determinado, porém a resolução dela exigia que eles fossem posteriormente retirados para assim avançar.

Algumas tarefas exigiam que se carregasse os *tokens* de um determinado lugar até outro, assim como algumas somente mostravam áreas cujo objetivo era perceber as relações de autoridade, área pessoal x área comum, interação cruzada e bimanual

⁶<https://youtu.be/noZvoZ8pd0>

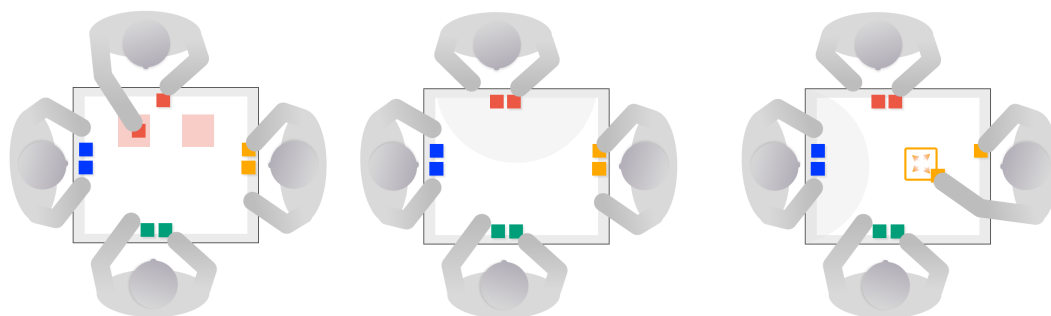


Figura 61 – Configuração de arranjo padrão com exemplos de tarefas realizadas. Fonte: Autor (2023)

(lista completa com o desenho das tarefas no **Apêndice M**). Após o processamento de captura dos vídeos da tela de todos os grupos que executaram as tarefas, cada uma delas foi cronometrada em segundos, possibilitando dessa forma dados quantitativos para comparação conforme a configuração de distribuição dos *tokens* solicitada. A tabela com todos os dados de tempo de execução de tarefas ⁷ está no **Apêndice N**.

Esses dados numéricos em conjunto com as respostas dos questionários (**Apêndice K**) permitem a discussão dos resultados desse experimento através dos eixos: (a) *token* e a consciência de física intuitiva em relação a ele; (c) *constraint* (tampo da mesa) e as consciências corporal e social de uso desse espaço ao redor da mesa e (d) fatores ambientais.

Tokens e consciência de física intuitiva

Com relação à quantidade adequada de *tokens* (**graus de liberdade**) que poderia ser utilizada numa aplicação com a mesa tangível, 37,5% dos participantes ficaram neutros ou indiferentes, enquanto a maioria concorda que quanto mais *tokens* é melhor para o processo de interação (47,5%). Em uma pergunta específica que questionava qual quantidade ideal de *tokens*, a média simples das sugestões dadas pelos participantes ficou entre 6 e 7 manipuladores. Entretanto, para a maioria dos usuários (11), a resposta foi "qualquer quantidade", com alguns respondentes destacando que "*a quantidade ideal dependeria da necessidade específica da aplicação*".

Também pode-se observar que existem alguns consensos em relação a alguns aspectos de ***affordance*** dos *tokens*. Segundo os resultados, 60% dos participantes acreditam que um *token* pode ter **qualquer formato**, enquanto 65% concordam que a **cor, textura e tamanho influenciam seu uso**. Apesar da maioria acreditar que o manipulador tangível pode ter qualquer formato, 85% dos participantes respondeu que

⁷Disponível também em <http://bit.ly/3Sjn2S6>

a **forma do token deve dar alguma dica do tipo de ação** que pode ser executado por ele na mesa tangível e para 87,2% dos respondentes ele deve ser o **mais acessível possível ao gesto de “agarrar”**.

A pergunta sobre qualquer objeto poder ser um *token* foi a que obteve maior variação de respostas. Para 52,5% qualquer objeto pode ser usado em qualquer aplicação, já 35% discordam dessa afirmação que somados aos neutros somam 47,5%. Um dos usuários ao preencher a resposta queria mais dados sobre a pergunta, questionando qual o contexto da aplicação, pois na visão dele isso determinaria o tipo de *tokens*. Outro participante falou que qualquer tipo de objeto poderia ser usado, dependendo exclusivamente da criatividade e da relação desse com a aplicação. Em parte, essas visões são complementares e explicam uma certa neutralidade das respostas.

Ficou evidente que a disposição dos *tokens* ao redor da mesa antes de sua utilização e proximidade deles com os usuários foi considerada importante por uma grande parte dos participantes, com 95% concordando com essa afirmação. Além disso, tanto instruções de áudio quanto de texto e os **feedbacks visuais e sonoros** foram consideradas importantes para ajudar no uso dos *tokens* na mesa tangível por 87,5% dos participantes.

Para 85% dos participantes, o objeto que é o *token* diz muito respeito do que pode ser feito com ele no processo de interação. Isso inclusive foi observado durante o experimento em uma conversa de um dos grupos, no qual um dos participantes comentou *“poderia ser uma borracha aqui para apagar e uma caneta grande para ilustrar e colorir”*.

Todos os usuários identificaram os **tipos de movimentos** de pegar, largar e arrastar o *tokens*, sendo que ainda 62,5 e 60% respectivamente identificaram os movimentos de soltar e girar o manipulador. Já com relação aos tipos de movimentos possíveis, a maioria dos participantes identificou que todos os movimentos que eram opções são utilizáveis.

Com relação aos dados estatísticos gerados pelas respostas (**Apêndice L**) ao questionário, observou-se algumas correlações constatadas através da Escala Pearson ⁸:

- A correlação mais forte ($r = 0,74$) foi entre facilitar o ato de agarrar o *token* com as mãos e a proximidade deles dos usuários;
- Outra relação estabelecida ($r = 0,64$) foi entre pessoas que acreditam que o objeto que é o *token* e a distância desses próximos a elas facilitam o seu uso;.

Em uma escala de relevância, podemos dizer, resumidamente, que a ordem dada

⁸A Escala Pearson (r) é medida estatística que avalia a relação linear entre duas variáveis quantitativas contínuas e vai de -1 a +1, na qual valores positivos sinalizam uma relação direta enquanto valores negativos apresentam uma correlação indireta (SAURO; LEWIS, 2016)

pelos participantes sobre características relacionadas aos *tokens* que impactaram sua experiência de interação:

- Disposição dos *tokens* ao redor da mesa antes de sua utilização e proximidade deles com os usuários;
- Objeto que é o *token* diz muito respeito do que pode ser feito com ele no processo de interação (ações);
- *Feedbacks* sonoros e visuais além de instruções em texto quando em processo de interação geram maior sensação de controle;
- Tamanho, cor e textura dos *tokens* influenciam seu uso;
- Quantidade ideal de *tokens* pode variar conforme a necessidade específica da aplicação;
- Qualquer objeto pode ser usado como *token* em uma aplicação de mesa tangível, dependendo do contexto;
- Tipos de movimentos possíveis com o *token* sobre a mesa foram identificados e demandam alguma orientação ou co-relação com a forma que estimule os gestos de pegar, largar, arrastar, soltar e girar.

Constraint, consciências corporal e social

Durante o experimento foram observados diversos comportamentos e percepções dos participantes acerca do espaço de interação sobre a mesa (*constraint*), do seu corpo em relação a isso e em como interagiam entre si. Isso ficou representado qualitativamente nas respostas ao questionário e nos dados numéricos gerados pelo teste de usabilidade.

Uma das questões que gerou maior variação nas respostas foi sobre **cruzar os braços com outras pessoas para manipular os *tokens***. Enquanto 42,5% dos participantes afirmaram que isso atrapalha o uso, 35% discordaram e 22,5% foram neutros em relação a essa afirmação. Outra tendência observada foi de neutralidade ou indiferença ao entendimento do uso inicial da mesa tangível, com cerca de 37,5% dos participantes apresentando essa postura, enquanto 35% conseguiram deduzir o uso mesmo sem nenhuma explicação.

Com relação aos textos e imagens projetados na mesa, 61,5% dos participantes acreditam que eles **não podem ficar em qualquer orientação da mesa**. Em alguns momentos do experimento os textos privilegiavam a orientação de leitura somente para um dos lados da mesa, o que gerava incômodo para alguns usuários que até reclamaram oralmente durante a interação.

Fatores antropométricos, como o tamanho de braços e mãos, foram percebidos como características que impactam o uso da mesa tangível por 65% dos participantes, apesar do teste estatístico mostrar ($p < 0,001$) diferença significativa das opiniões entre

os diversos grupos. Já quanto ao número ideal de participantes, 75% dos usuários acreditam que 4 é o número ideal, enquanto 10% acreditam que até 6 participantes podem ser possíveis.

Sobre **entender quem estava no comando da atividade de interação com a mesa tangível** 72,5% afirmaram não terem percebido essa dificuldade. Esse alto valor se deve, em parte, pela simplicidade da aplicação utilizada no experimento. Como cada usuário estava com alguns *tokens* de uma determinada cor, era fácil identificar quando ele era chamado a interação, o que garantiu essa sensação de controle do processo.

Conseguiram **entender a área de interação sobre a mesa** e suas particularidades 82,5% dos participantes e a utilização de **interação bimanual gerou percepção de aumento de produtividade** para a mesma proporção. Por outro lado, a percepção geral é que **esbarrar os braços com outras pessoas** (82,9%), **várias pessoas usando os tokens** (48,6%) com ambas as mãos (37,1%) foram as situações que mais atrapalharam a experiência de uso.

Já com relação ao uso de **instruções de áudio e texto no tampo da mesa feedback** foram aprovadas por 87,5% dos usuários, valor idêntico ao aferido sobre o mesmo tópico em relação aos *tokens*.

Partindo para uma análise estatística acerca das respostas sobre esse eixo (**Apêndice L**), pode-se afirmar que existe uma correlação moderada na Escala Pearson entre algumas perguntas:

- O entendimento da área de interação e a utilização das duas mãos no processo foi percebida como uma dessas relações estabelecidas pelos participantes ($r = 0,57$);
- Instruções de feedback em áudio, texto e imagens auxilia o entendimento de quem está no controle da interação sobre a mesa ($r = 0,5$).

Essa análise das variáveis e suas possíveis correlações, auxilia o entendimento de como uma determinada característica no design de interação com a mesa tangível influi diretamente na percepção de uso em outro aspecto. Sobre a análise de desempenho através da medição de tempos de execução de tarefas (**Apêndice N**), algumas das premissas colocadas como percepção dos participantes através do questionário podem ser discutidas. Todos os testes estão detalhados em Lista de tarefas e testes estatísticos sobre os tempos de execução na mesa tangível (**Apêndice M**) .

Sobre as tarefas que avaliavam interações que demandavam manipular os dois *tokens* na mesa para testar **interações cruzadas, bimanuais e com dois, três ou quatro usuários**, um teste de Saphiro-Wilk⁹ foi aplicado sobre os dados (tempos afe-

⁹Shapiro-Wilk é um teste de normalidade usado para verificar se uma amostra de dados segue uma distribuição normal onde $p < 0,05$ indica que a amostra não segue uma distribuição normal.(SAURO; LEWIS, 2016)

ridos nas tarefas) entre todos os participantes ($n = 52$ divididos em 13 grupos) gerando valores que confirmam uma distribuição normal, validando a amostra, o que é corroborado pelo teste de Alfa de Cronbach ($\alpha = 0,793$) (SAURO; LEWIS, 2016).

As primeiras 13 tarefas envolviam somente dois usuários, interações que foram regulares (sem precisar cruzar os braços com os do outro usuário), mais próximas ou distantes do seu lado da mesa, ou interações cruzadas. Quando aplicados os testes *T Student* pareados entre tipos diversos de tarefas, o que observou-se é que não há diferenças significativas entre colocar o *token* próximo ou distante do local onde o usuário estava ($p = 0,439$ e $0,777$) em termos de eficiência de resolução da tarefa. Observou-se diferença significativa na primeira interação de cada um dos usuários ($p = 0,004$) com a mesa tangível, porém também não houve diferença significativa quando eles efetuavam juntos a primeira interação conjunta ($p = 0,072$) e acerca do tipo de interação (regular ou cruzada) entre as diversas tarefas ($p = 0,376$).

Possivelmente as primeiras interações com os usuários com a mesa gerou uma curva de aprendizagem rápida, tornando as demais manipulações mais rápidas e com menor diferença entre os intervalos de execução das tarefas.

Com relação às tarefas efetuadas por três e quatro participantes (18 tarefas) a análise dos dados apontou que não há uma diferença significativa de modo geral ao utilizar uma ou as duas mãos ($p = 0,143$). Contudo, em algumas tarefas específicas (19 e 29; 14 e 24) ocorreram diferenças estatísticas consideráveis na amostra de dados, corroborando a percepção geral do questionário que interagir com as duas mãos é mais eficiente do que com uma só.

Também aplicou-se um teste *T Student* pareado entre as médias de tempo de execução de tarefas similares quando executadas por dois usuários e pelo grupo de 3-4 usuários. Nesse aspecto percebeu-se que houve diferenças significativas de desempenho, sendo que o valor de $p = 0,002$ é o resultado da comparação entre tarefas realizadas por dois usuários x tarefas realizadas por 3-4 usuários com interação bimanual; e $p < 0,001$ quando executadas com uma mão só. Desse modo, confirma-se que quanto mais usuários (graus de liberdade) utilizarem a mesa tangível ao mesmo tempo, maior será a complexidade de resolução de tarefas.

Baseado nas médias de tempo das atividades que utilizaram interação regular ou com braços dos participantes se cruzando, os tempos de execução do mesmo grupo de tarefas também não obteve diferença significativa ($p = 0,147$). Porém, em um grupo específico de interações com uma mão ou bimanual, esses valores ganham maior discrepância estatística. Em uma tarefa cruzada executada com uma mão, por exemplo, e outra com configuração regular, a diferença ficou aparente em algumas tarefas. De modo geral pode-se afirmar que vários usuários interagindo simultaneamente, com interações cruzadas têm uma percepção confusa do que fazer, contudo, em termos de eficiência, isso não é estatisticamente comprovado.

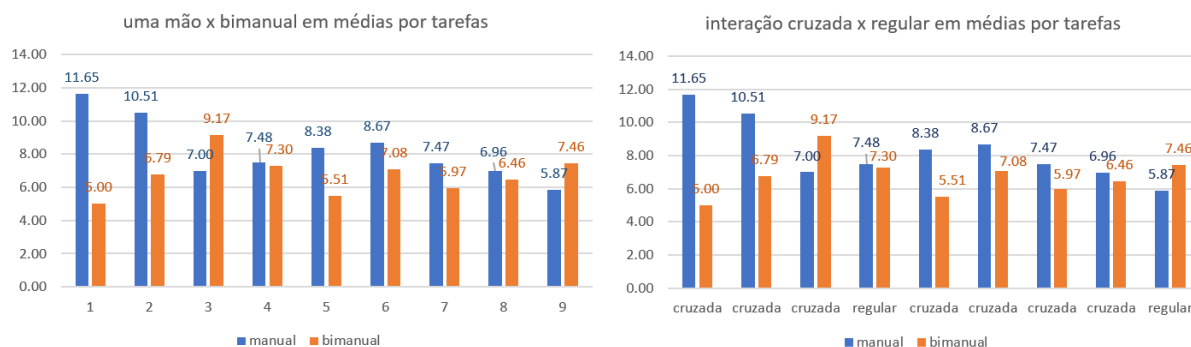


Figura 62 – Tempos médios em cada tarefa com diversas formas de característica de interação com o *token* em relação ao *constraint* Fonte: Autor (2023)

Há que se considerar a simplicidade das tarefas e o curto tempo de execução entre cada uma delas, o que de certa forma tende a homogenizar as amostras durante o tempo de execução das tarefas. Contudo, a figura 62 mostra um gráfico com as diferenças perceptíveis com o uso da interação bimanual ou cruzada, porém estatisticamente não significativas, nas médias dos tempos de execução em cada tarefa por todos os grupos de usuários.

As **áreas de proximidade e o entendimento de área pessoal e compartilhada** foram analisadas entre as tarefas 32 e 43 e demandavam que o usuário colocasse o *token* no local demarcado que "acreditasse ser seu naquela determinada tarefa", intercalando áreas nas bordas da mesa com a apresentação de uma área ao centro (Figura 63). A distribuição dos dados gerou um Alfa de Cronbach ($\alpha = 0,859$) com alto grau de confiabilidade e um teste de Saphiro Wilk com valores significativos, garantindo uma distribuição normal dos tempos de resposta.



Figura 63 – Sequência de fotos das tarefas, à esquerda ambas com uso de áreas entendidas como pessoais no tampo da mesa, à direita áreas centrais geram percepção de área comum ou compartilhada. Fonte: Autor (2023)

Com base nas médias das diversas tarefas, em relação as áreas pessoais e individuais, não se percebeu diferenças significativas de performance entre áreas que ficavam nos cantos da mesa em relação ao centro. As tarefas 33 a 35 (colocar objetos nos cantos), por exemplo, quando comparadas a tarefa 36 (colocar objetos no centro), com o uso de um teste T pareado, não gerou nenhum valor de $p < 0,05$. Apenas entre a primeira tarefa (número 32) e a colocação de objetos no centro a diferença foi considerada significativa ($p = 0,026$).

Porém, através da observação e do registro fotográfico, pode-se perceber que a área central da mesa é entendida como área comum de uso e aquela mais próxima do usuário como área pessoal. Isso também é confirmado pelos dados sendo que as médias das tarefas para colocação dos *tokens* ao centro foram melhores.

Isso fica também perceptível na análise das atividades 44 a 50 (Figura 64), que consistiam em "arrastar" elementos gráficos no topo da mesa com o uso do *token* de um local a outro. Ocorreram diferenças significativas entre alguns grupos de tarefas, segundo o teste *T Student* pareado (SAURO; LEWIS, 2016). Normalmente as tarefas que envolviam arrastar os objetos para a área mais próxima do usuário eram executadas com maior eficiência do que aquelas que necessitavam deslocar o objeto até a área pessoal de outro participante (por exemplo, $p < 0,001$ entre atividades 44 e 45). Também atividades que envolviam somente um usuário eram efetuadas mais rapidamente do que aquelas que necessitavam envolvimento de todo o grupo ($p = 0,002$ entre tarefas 46 e 47).



Figura 64 – Sequencia de fotos das tarefas, à esquerda participante arrastando elemento para o outro lado da mesa, ao centro usuário arrastando elemento para sua área pessoal e à direita todos conduzido seus *tokens* ao centro da mesa. Fonte: Autor (2023)

No geral, durante o desenvolvimento das tarefas, não ocorreram erros ou inconsistências e acredita-se que isso se deve principalmente pela simplicidade e o encadeamento delas. Apenas na tarefa 47 (cada usuário arrastar um elemento gráfico com seu *token* para o centro da mesa), por exemplo, alguns grupos tiveram dificuldade para conseguir avançar a próxima, sendo que não havia sido planejada nenhuma resposta ou prevenção a essa condição, o que gerou incertezas e frustrações. Uma das hipóteses para essa falha é que o sistema não conseguiu obter identificação dos quatro

fiduciais simultaneamente. Já outro aspecto observado, com relação a essa falha, é que quanto mais participantes atuavam sobre a mesa ao mesmo tempo, interagindo e buscando a resolução do problema, mais eles se "atrapalhavam" e não conseguiam resolvê-la. Isso é corroborado por Scott; Grant; Mandryk (2003) que estudou a concepção de sistemas interativos que visam a colaboração entre usuários em mesas tangíveis.

Segundo os experimentos dos autores (SCOTT; GRANT; MANDRYK, 2003), grande parte do desafio de uso da mesa tangível é de sincronizar as ações dos diversos usuários. Fornecer subsídios que gerenciem esses conflitos ou que facilitem a ordenação ou execução de tarefas simultaneamente, por vários usuários, deve considerar ordenar esses diversos interesses na utilização da mesa tangível.

Um dos aspectos que também chamou a atenção no desenvolvimento dessas tarefas foi a diferença de personalidade entre os participantes através dos grupos. Essas características pessoais de individualidade não são mensuradas nos testes estatísticos, tão pouco conseguem ser aferidas no questionário geral, contudo foi perceptível pelas observações dos especialistas que elas impactam na resolução das tarefas. Grupos de participantes com os quatro usuários que já se conheciam com um certo grau de relação pessoal, desenvolviam as atividades de forma mais colaborativa, com maior eficiência. Em contrapartida, grupos de participantes que não se conheciam, e reunidos somente para o experimento, levavam algum tempo até desenvolver certo grau de colaboração e até para oralmente trocarem sugestões de interação dentro da resolução de tarefas.

Esses arranjos (acoplamentos) e personalidades de uso já foram discutidos no artigo de Tang et al. (2006), o qual estabelece a relação entre a interação colaborativa e a disposição física dos usuários em torno de uma mesa interativa. A pesquisa foi realizada por meio de um experimento com um grupo de participantes, no qual foram analisados vários aspectos da interação nesse contexto, como a colaboração, a coordenação e o desempenho dos usuários. A disposição dos usuários e suas características de personalidade pode, afetar a percepção de colaboração, a divisão de tarefas, a coordenação do trabalho e a resolução de conflitos. Além disso, os resultados sugeriram que a percepção de proximidade física pode afetar a colaboração, mesmo que os usuários estejam trabalhando em tarefas diferentes. Segundo os autores, para aumentar a colaboração e a coordenação, é importante projetar interfaces que forneçam *feedback visual* e tátil aos usuários, bem como promover a comunicação verbal e gestual entre eles (TANG et al., 2006).

De forma resumida, podemos definir algumas considerações acerca dos resultados do experimento sobre características de interação com a mesa tangível, especificamente no eixo que envolve o *constraint* e as consciências corporais e sociais de uso desse dispositivo:

- Movimentos de interação com cruzamento de braços por vários usuários causou uma percepção de confusão de uso dos *tokens* em relação ao *constraint* e diminuição de eficiência;
- Interação bimanual gerou percepção dos participantes de maior produtividade, porém estatisticamente isso não acontece de forma significativa;
- Áreas próximas ao local onde o usuário está colocado ao redor da mesa são entendidas como áreas privadas ou individuais de interação, enquanto ações comuns são normalmente executadas na área central da mesa tangível;
- Orientação dos elementos gráficos, textuais, no tampo da mesa impactam a percepção de uso e de controle da interação com o *token* sobre o *constraint*;
- Apesar de concordarem anteriormente no questionário que "quanto mais *tokens*" melhor seria a experiência de uso da mesa tangível, ao serem confrontados com uso desses sobre o *constraint* a percepção aponta na direção contrária, onde quanto mais usuários e manipuladores (DOF) mais confusa fica a interação (sensação de controle);
- Nas tarefas, o entendimento sobre área pessoal e área comum, através dos elementos gráficos, *feedbacks* sonoros e visuais, garantiu uma percepção maior de controle e autoridade sobre a interação com a mesa;
- Entender a área de interação na mesa tangível e como os *tokens* se relacionam com o *constraint* foi fundamental para aumentar a sensação de domínio e autoridade sobre a aplicação, sendo que o tutorial introdutório de uso auxiliou muito essa dinâmica;
- Instruções de áudio, texto, gráficos após cada interação do token com a mesa tangível (*feedbacks*) auxilia entendimento de tomadas de decisão, de quem está no comando da interação;
- Acoplamento (arranjo) dos participantes ao redor da mesa e as características de personalidade entre os diversos usuários gera desdobramento no uso da interação colaborativa e no desenvolvimento da consciência social;
- Mão dominante orienta, na grande maioria dos casos, qual direção o usuário vai tomar na primeira experiência de manipulação do *token* sobre a mesa tangível;

Fatores ambientais

Os fatores ambientais não são controláveis do ponto de vista do design de interação da aplicação para a mesa tangível, porém geraram percepção de impacto no uso da mesa para os participantes do experimento. Por exemplo, a interação com a mesa tangível é mais convidativa quando há **espaço adequado ao redor da mesa** para 90% dos usuários, sendo que o **planejamento desse entorno** em conjunto com as aplicações é considerado importante por 50% dos respondentes.

Em relação à **iluminação do ambiente**, houve opiniões divergentes, sendo que 42,5% acreditam que pouca iluminação piora a experiência, 25% são indiferentes e 32,5% afirmam que não atrapalha. Por outro lado, o **som ambiente** muito alto ao redor confunde a experiência para 52,5% dos participantes, enquanto 30% não concordam. A **altura da mesa** também é um fator importante para a interação com a mesa, de acordo com 65% dos participantes.

5.8 Discussão

O objetivo desse capítulo foi criar subsídios, a partir da prática, que dialogassem com as teorias apresentadas para confirmação de parâmetros que auxiliassem a construção de princípios para o design de interação de aplicações para mesas tangíveis. Todas as evidências coletadas para construção do *framework* DIMETA, seja com origem na teoria, na visão dos especialistas ou dos primeiros experimentos (1 a 4), foram consolidadas no item 5.6, o qual definiu esses parâmetros/categorias de análise da interação com a mesa tangível. Isso oportunizou que o último experimento, quinto ciclo, fosse planejado de modo que os dados não fossem analisados somente através da observação, mas sim por uma abordagem também quantitativa sobre esses aspectos.

Enquanto os primeiros experimentos foram construídos pensados sob a perspectiva de perfis diferentes de atores envolvidos no processo de interação, o último ciclo foi planejado exclusivamente com foco nas categorias de análise definidas e como elas impactam a experiência de uso. A construção dos três eixos principais de análise do processo de interação com a mesa tangível: *token* e a física intuitiva, *constraint* e as consciências corporal e social e de espaço ao redor (fatores ambientais), possibilitou uma relação mais assertiva entre as diversas evidências encontradas no transcorrer da construção dessa tese.

De certo modo, esse conjunto de características funciona como um conjunto de heurísticas verificáveis para análise em uma aplicação e na experiência de uso dessa na mesa tangível. Só a listagem dessas características permite identificar diversas especificidades contidas nessa forma de interação que a difere em relação às interfaces gráficas, seja em sua dinâmica de uso como no ato de projetar.

O grande desafio constatado em todos os experimentos foi o do desconhecimento acerca do dispositivo e seu funcionamento. Todos acham a mesa “interessante e atrativa” num primeiro olhar, porém ao ficar a frente dela a falta de um modelo mental de como interagir coloca os usuários em dificuldade.

O modelo mental de interação com uma interface gráfica foi consolidado ao longo de décadas de uso, por exemplo, e cria um paradigma de entendimento que todo tipo de tecnologia deve funcionar segundo os mesmos princípios, com a mesma sistemática de UI. Mesmo as interações tangíveis tendo vários aspectos positivos associadas

ao seu uso, referenciadas por diversas pesquisas e autores, os usuários sentem dificuldades iniciais ao uso em uma mesa tangível.

Como comentou um dos participantes dos experimentos "é diferente (usar uma TUI na mesa tangível) e deu um nó na cabeça, eu não preciso clicar com o mouse ou tocar numa tela para mexer num cubo, eu posso pegar e mexer o próprio cubo." Ao lidar com essa quebra de entendimento a aprendizagem é rápida e aí as dificuldades são de outra ordem.

Os quatro ciclos iniciais dos experimentos deram visibilidade sobre uma dada perspectiva de ator envolvido no processo de interação com uma tecnologia. O primeiro experimento com designers gerou mais questões do tipo "o que eu posso criar para essa mesa?"; enquanto o segundo ciclo com os visitantes baseou-se mais em "o que eu posso fazer com essa mesa?"; já o terceiro e quarto ciclos trouxeram a inquietação sobre "como posso implementar ou o que posso fazer funcionar nessa mesa?" oriunda dos estudantes de computação.

Tanto os designers como os desenvolvedores concordaram ser complexo projetar para um dispositivo que não é tão conhecido e que usa um tipo de interação que não é convencional, porém acreditam ter apelo a ser explorado em várias áreas. Os participantes das áreas de design de interação e computação, assim como os especialistas ouvidos, concordam que uma mesa tangível não será popularizada nos lares das pessoas, contudo acreditam que a forma de interação, sim, possa gerar futuros desdobramentos. Um dos estudantes do grupo de design digital comentou algo muito similar ao que um da ciência da computação falou "é provável que os objetos tangíveis conversem mais com as interfaces compartilhadas, então isso necessariamente não precisa acontecer na casa, mas em lugares e espaços compartilhados, como uma sala de espera de um médico, e por aí vai."

Pode-se perceber que importância da definição inicial dos *tokens* dada na visão dos especialistas também surgiu com o desenvolvimento dos experimentos. A partir deles, uma cadeia de decisões projetuais parece ser o caminho a ser tomado para o design de interação de toda a aplicação. A definição do objeto em si, sua forma, cor, textura, tamanho, seus *feedbacks* e tipos de movimentos e ações possíveis são decisões projetuais que irão impactar na experiência final de uso da mesa.

O *token* (objeto físico) é o item fundamental e mais aparente do processo de construção do modelo mental de uso da mesa, pois é através dele que os usuários têm o primeiro contato com a interação tangível e sobre o qual irão buscar a referência do que pode ser feito. Por si só, a mesa é um aparato cotidiano aos usuários, portanto, estabelecer a conexão entre a ação de "pegar" o *token* e "largar" na parte superior da mesa (*constraint*) é crucial para entendimento do seu funcionamento.

"Qual é o comportamento esperado de cada *token* e como eles se relacionam entre si? Qual a ordem esperada de uso deles, ou existe uma ordem?" foram perguntas

recorrentes na medida que os usuários nos experimentos iam manipulando as aplicações. Construir essas relações entre a forma, seus comportamentos, bem como seus *feedbacks* são importantes na manutenção da sensação de controle, autoridade e delimitação de áreas de interação.

Se a relação com o *token* é básica na física intuitiva, o entendimento com o tampo da mesa (*constraint*) para a interação com a mesa tangível opera nas consciências corporais e sociais dos usuários. Várias pessoas ao redor da mesa executando uma atividade conjunta é um hábito presente em vários momentos do cotidiano, como refeições, reuniões, jogar cartas, e em cada um desses momentos existe uma dinâmica, que é apreendida e reproduzida. Por exemplo, uma pessoa não pega os talheres do outro lado da mesa de outra pessoa se está disposto um conjunto desses bem a sua frente, e por aí vai. Ao projetar uma aplicação para mesa tangível "criar" essa dinâmica é estabelecer regras através das quais são mediados os conflitos.

Pessoas tendem a trabalhar colaborativamente nesse cenário, sendo essa uma das principais características da interação com a mesa tangível. É possível que operem juntas na resolução de problemas ou tarefas, ocasionando uma série de novas situações, como braços que podem se "bater" (cruzar) durante a manipulação dos *tokens*, uso das duas mãos para aumentar a velocidade ou fazer atividades em paralelo, etc. Mediar essas situações, que podem ser frustrantes ou contraproducentes, também faz parte do escopo do projeto da aplicação e deve ser planejada através do uso de instruções visuais e sonoras.

A personalidade dos usuários e o modo como se organizam ao redor da mesa também gera impactos na dinâmica de uso da mesa tangível e resta aos designers de interação refletir sobre esses aspectos e incluir em seus projetos ações que mitiguem possíveis conflitos. Dessa forma, as aplicações devem permitir interação colaborativa, com definições de transição entre atividades e áreas pessoais e compartilhadas no espaço do *constraint*.

Foi observado no quinto experimento que cada iteração na resolução de tarefas em cada grupo era determinada via atributos pessoais dos participantes. Um usuário mais "pró-ativo" fazia a primeira interação e era seguido pelos demais numa dinâmica de frações de segundo que determinava regras implícitas ao grupo para as demais tarefas. Usuários mais "tímidos" esperavam seu momento de colocar os *tokens* de modo a não colidir braços ou causar algum "desconforto" ao grupo.

O conceito de acessibilidade (item 3.1.1.3), já relacionado por alguns artigos da RSL com TUI, foi percebido como uma potencialidade no projeto de aplicações para mesas tangíveis. Enquanto a GUI privilegia a visão em detrimento aos demais sentidos, e por consequência demanda uma série de tecnologias assistivas que permitam seu uso, a interação tangível visa ser multissensorial, utilizando diversas capacidades que incluem um grande espectro de pessoas com algum tipo de deficiência. Se

acessibilidade atribui igual importância entre pessoas COM ou SEM uma determinada limitação sobre os sentidos, pensar nas características e nos elementos que constituem a interação com a mesa tangível vão possibilitar que diversos perfis de usuários interajam de acordo com suas capacidades preservadas.

Fatores ambientais também impactam diretamente na maneira como os usuários poderão interagir com a mesa, porém, na maioria das vezes, são elementos que os designers de interação não conseguem controlar ou projetar em conjunto com uma aplicação para mesa tangível. Por exemplo, uma má iluminação do ambiente no qual a mesa tangível está pode dificultar a identificação de um *token* ou até mesmo em qual área ele deve ser manipulado. Outro exemplo seria um som ambiente muito alto, o qual pode dificultar o recebimento de algum *feedback* de áudio.

Se esses fatores ambientais já forem dados, sem possibilidade de interferência do designer, há que se considerá-los no design de interação. *Tokens* e *constraints* e suas características em cada momento da interação é algo que pode ser controlado e projetado durante o design de uma aplicação para a mesa tangível, sendo que um tem determinado efeito sobre o outro. Por exemplo, um tipo de *token* pode gerar um *feedback* diferente conforme o tipo de movimento feito com ele sobre a área do tampo da mesa (*constraint*).

O objetivo dessa discussão é fazer a conexão entre a construção de teoria baseada na prática, o arcabouço teórico, o estado da arte sobre o dispositivo mesa tangível e o capítulo de construção das diretrizes projetuais para design de interação de aplicações para mesas tangíveis. No próximo capítulo apresenta-se o produto final dessa tese, com seu escopo, limitações e um processo de validação com o público alvo a que ele se destina.

6 FRAMEWORK DIMETA

O objetivo desse capítulo é apresentar o produto final dessa Tese - *framework* DIMETA: princípios para o Design de Interação de aplicações para MESas TAngíveis. No item a seguir delimita-se o escopo de atuação contemplado com essa estrutura; segue com as definições e apresentação do DIMETA (Item 6.2); finalizando com um grupo focal com exercício de aplicação prático do *framework* para sua validação (Item 6.3).

6.1 Delimitação do escopo

Enquanto a área do design de interação, como definido anteriormente, envolve um escopo mais amplo, abordando teorias, pesquisas e práticas para o design de experiência do usuário com vários tipos de tecnologia, a área de IHC é mais restritiva e foca exclusivamente no design, implementação e avaliação dos sistemas interativos para uso humano.

Como ilustrado na figura 65, o objetivo dessa Tese é gerar um *framework* para o design de interação tangível, por uma TUI, em aplicações para mesas tangíveis. Esse produto será utilizado por outros designers de interação, desenvolvedores e comunidade de IHC em geral, especificamente dando atenção a etapa projetual.

Há que se considerar os fatores humanos, contexto de uso e os demais aspectos contidos em outras áreas de conhecimento envolvidas, porém esses não são "controláveis" ou "projetáveis" durante o design de interação de uma aplicação para uma mesa tangível. Esses aspectos externos devem ser previstos e dimensionados nas etapas projetuais de qualquer metodologia, porém o centro do *framework* DIMETA é a construção de diretrizes projetuais gerais que auxiliem o desenvolvimento de aplicações independente de sua área de uso e perfil de usuários.

Desde o princípio foram definidas premissas (Item 1.5) acerca das características desejáveis ao *framework* DIMETA:

- Ser relacionável a qualquer outro *framework* teórico sobre TUI, ou seja, permitir utilização desses num sentido mais amplo sem comprometimento dos mesmos;

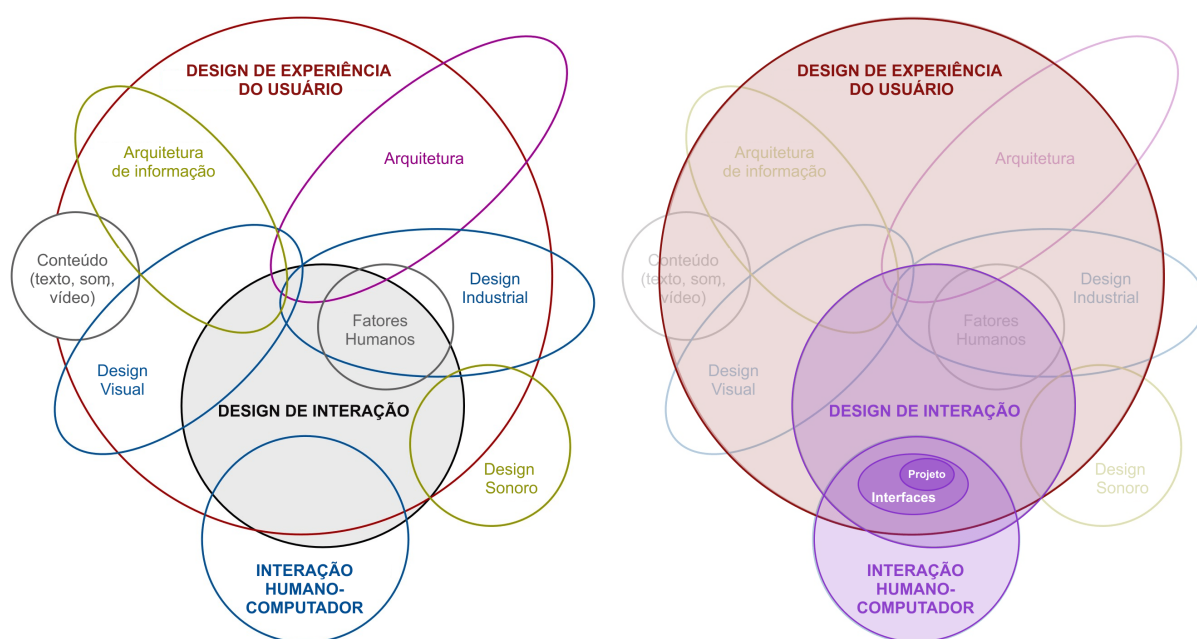


Figura 65 – Disciplinas ao redor do design de interação (à esquerda) e o *locus* de inserção dessa Tese (à direita) Fonte: Autor (2022) adaptado de Saffer (2010)

- Ser independente de qualquer *toolkit* de rastreamento de objetos, sendo aplicável a qualquer cenário que utilize a visão computacional com o uso de fiduciais (*tokens* passivos);
- Ser configurável para que a estrutura das etapas e dos princípios do *framework* possam ser aplicados na totalidade ou conforme uma necessidade específica na criação de um projeto.

A construção do DIMETA é justamente baseada na "conversa" dessa estrutura com os *frameworks* conceituais sobre TUIs apresentados anteriormente (Item 3.2.2). MCRpd, TAC e interação baseada em realidade auxiliaram a identificação dos diversos elementos presentes na interação tangível em uma mesa (Figura 29), bem como diversas características relacionadas a eles através do levantamento de indícios no desenvolvimento da tese com o uso da metodologia RtD. Desse modo, a utilização de qualquer estrutura conceitual já desenvolvida sobre TUIs é relacionável ao DIMETA e pode ser utilizada em conjunto sem prejuízo.

Com relação a segunda premissa, apesar de utilizar uma estrutura de infraestrutura definida (reactIVision e TUIO), o escopo de atuação do DIMETA contempla qualquer *toolkits* de visão computacional. Pacotes de desenvolvimento específicos para jogos, como o Unity¹, por exemplo, que utilizem tecnologias próprias de CV podem ser utilizadas para construção de aplicações para mesa tangível com o uso das diretrizes propostas. Permitti-se, desse modo, a escalabilidade de uso dos princípios propostos

¹Unity é um motor de jogo proprietário com suporte a diversas tecnologias e plataformas, disponível em <https://unity.com/>. Fonte: Unity [S.d.]

a novas soluções que possam surgir no futuro utilizando essa mesma abordagem de identificação de objetos.

Com relação a última premissa, buscou-se, através do DIMETA, não engessar o processo de criação de aplicações para mesas tangíveis, mas sim criar um facilitador, fornecendo passos e estruturas conhecidas, otimizando o tempo de desenvolvimento, e que, ao fim, não falte o entendimento sobre o dispositivo e o que pode ser ofertado de interação com ele.

6.2 DIMETA

O *framework* DIMETA trata sobre Princípios de Design de Interação para aplicações em MESas TAngíveis e tem como perfil de usuários designers de interação e desenvolvedores. Não se propõe, com essas diretrizes, dispensar qualquer outra abordagem metodológica que porventura já utilizem em seus projetos, mas sim, que o DIMETA seja aderente a essas, orientando designers e desenvolvedores na tomada de decisões através dos diversos elementos que constituem esse produto de forma contextualizada.

Nesse sentido cabe especificar quais são os elementos envolvidos no processo de interação para aplicações em mesa tangível:

- **Usuário:** Por utilizar física intuitiva e estimular colaboração e vários sentidos (visão, tato, audição), a interação tangível não apresenta restrição de perfil ou coletivos de usuários. Contudo, cabe ressaltar, a necessidade do projetista ter o conhecimento dos perfis de usuários que irão utilizar aquela aplicação e que eles estarão ao redor de uma mesa sozinhos ou em grupos;
- **Contexto:** Mesas tangíveis ainda são dispositivos não portáteis e não populares comercialmente, tendem a se apresentar em ambientes de uso compartilhado com foco em educação não formal, como salas de aula, museus ou espaços de circulação de muitos usuários;
- **Tipos de aplicações:** Mesas tangíveis são especialmente indicadas para atividades compartilhadas/colaborativas com foco em educação, atividades lúdicas, terapêuticas (com destaque a educação inclusiva), relações espaciais, entre outros;
- **Tokens:** Todo e qualquer objeto físico, rastreável através de visão computacional, que será manipulado sobre o tampo da mesa para interação com os dados computacionais da aplicação. É o controle da representação tangível como dispositivo de I/O de interação com o sistema.
- **Constraint:** Tampo da mesa, local no qual todas as interações com os *tokens*

acontecem. *Constraint* (numa tradução livre "restrições") delimita o espaço físico da interação tangível na mesa e gera todo retorno de representação intangível dos dados computacionais manipulados.

Para facilitar o uso do DIMETA e criar um ordenamento, estabeleceram-se etapas gerais que contemplam diretrizes relacionadas. Essas etapas podem ser utilizadas na totalidade, ou conforme a necessidade específica para o projeto. Os objetivos desses passos são estimular a construção da aplicação de forma reflexiva e em adição de complexidade, otimizando tempo de desenvolvimento e conhecimento sobre o design de interação para esse dispositivo.

As etapas gerais são assim descritas:

- **01 — Definições iniciais da aplicação para mesa tangível:** É uma etapa de verificação de especificações, técnicas, contextuais de uso da aplicação. Consolida o levantamento de requisitos em características verificáveis para o design de interação com a mesa tangível.
- **02 — Planejamento geral da aplicação para mesa tangível:** Traça princípios gerais de organização prévia para o planejamento das ações e de estados gerais de comportamento da mesa tangível para receber as interações dos usuários.
- **03 — Definindo o *token* (Física intuitiva):** Definir os *tokens* são o aspecto inicial do desenvolvimento do conceito da aplicação, o objeto que será o manipulador tangível por si só deve conferir uma série de atributos inerentes ao seu uso na interação: com relação a sua forma, cor, tamanho, textura, quantidade, comportamentos e tipos de movimentos possíveis.
- **04 — Definindo restrições e comportamentos (*Constraint* e consciências corporal e social):** A área do tampo da mesa delimita o nível de ação dos *tokens* com os dados computacionais manipulados pelos usuários no processo de interação com a mesa tangível. Essas diretrizes buscam auxiliar no estabelecimento de relações dos *tokens* com a mesa e dos usuários em relação a ela e uns com os outros.
- **05 — Avaliação da aplicação:** Não é objetivo central do DIMETA fornecer métodos, instrumentos ou abordagens de avaliação com foco em aplicações para mesas tangíveis, porém, a partir das discussões desenvolvidas no transcorrer de sua construção (Item 3.2.3), propõem-se boas práticas de avaliação considerando as especificidades dessa UI.

Também com o objetivo de facilitar o encadeamento com o desenvolvimento dessa Tese, apresenta-se ao lado de cada uma das diretrizes as notações gráficas com

as origens das evidências coletadas no desenvolvimento da pesquisa e que deram origem aquela orientação.

6.2.1 Definições iniciais da aplicação para mesa tangível

- **LIT 04** **ESP 07** Definir o perfil de usuário, o objetivo da aplicação e como explorá-lo através da interação com objetos físicos na mesa tangível.
- **LIT 05** Analisar a viabilidade de anexar fiduciais na superfície dos objetos físicos que serão manipulados.
- **LIT 02** **ESP 08** Considerar fatores ambientais sobre o local onde a mesa está inserida ao iniciar o design de interação da aplicação, tais como: iluminação, som ambiente, espaço ao redor, circulação de pessoas, altura e dimensões gerais da mesa.
- **LIT 14** **ESP 08** Intervir, se possível, para que o local no qual esteja a mesa tangível de modo que tenha uma iluminação adequada, suficiente para não atrapalhar o reconhecimento de objetos por visão computacional.
- **LIT 10 - 11** Definir uma quantidade mínima, máxima ou exata de usuários que poderão utilizar a aplicação na mesa tangível e deixe isso claro através da distribuição dos *tokens* ao redor.
- **LIT 10 - 11 - 12** **EXP 01** Determinar a quantidade necessária de *tokens* para a interação com os dados computacionais que serão disponibilizados na mesa tangível.
- **LIT 17** Observar critérios sanitários durante o projeto do design de interação para a aplicação em mesas tangíveis, os usuários irão tocar em objetos físicos em grupo e considere formas de mitigar possíveis transmissões de vírus.
- **ESP 03 - 09** Utilizar os vários sentidos (visão, audição, tato e olfato) no projeto da aplicação para mesa tangível, de modo que ela seja flexível ao ponto de permitir acessibilidade a pessoas com diversas capacidades.

6.2.2 Planejamento geral da aplicação para mesa tangível

- **ESP 01 - 02** Definir claramente qual o comportamento inicial da mesa para a primeira interação e utilize instruções claras que levem o usuário a interagir com ela.
- **ESP 06** Projetar cada ciclo de interação como uma etapa, deixe aparente a passagem de cada uma dessas através do uso de *feedbacks* visuais, sonoros

e textuais, que irão ilustrar o sucesso ou erro na execução de uma determinada tarefa.

- **ESP 06** Permitir que a interação geral com a mesa tangível em sua aplicação auxilie os usuários a corrigir seus erros através de *feedbacks* visuais, sonoros e textuais.
- **EXP 08** Determinar o comportamento de cada um dos elementos (*tokens* e *constraints*) em cada um dos momentos da interação, de modo que o usuário perceba padrões de interação para situações semelhantes por agrupamentos, sejam de tipos de objetos, cores, texturas ou formas.
- **ESP 01** Criar cenários para demonstração básica de funcionamento da aplicação via tutoriais iniciais de explicação visando reduzir incertezas sobre o uso do dispositivo e garantir que o usuário tenha mais segurança e controle sobre o uso do mesmo.
- **ESP 02** Considerar que os *tokens* são os controles principais de interação com a mesa tangível e por isso devem ficar ao redor dessa para facilitar seu entendimento de uso.

6.2.3 Definindo o *token*

Com relação à forma:

- **ESP 02 - 07** Considerar o perfil de usuário na escolha do objeto manipulador tangível. O *token* deve por si só gerar significado ao público alvo a que se destina e públicos diferentes podem ter interpretações ambíguas. Crianças tendem a perceber o *token* como algum elemento lúdico para brincar ou jogar, adultos realizarão conexão ao uso do objeto no seu cotidiano.
- **LIT 01 ESP 02 EXP 12** Atribuir uma forma ao *token* que confira sugestão do tipo de ação possível de ser executado por ele sobre a mesa tangível.
- **EXP 01** Facilitar a manipulação do *token* pelos usuários com o uso de uma mão, ou ambas, tendo um tamanho, material e textura adequados a essa interação e ao contexto da aplicação e perfil de usuários.
- **LIT 03 EXP 01** Possibilitar o controle da interação relacionando a forma/objeto do *token* com as informações digitais que ele manipula. Formas circulares serão mais relacionadas as ações de girar do que formas cúbicas, por exemplo.

Com relação à cor, tamanho, material e textura:

- **EXP 08** Relacionar o tipo de material de que é feito o *token* ao tipo de interação ou manipulação que pode ser feito com ele na mesa tangível.
- **EXP 08** **ESP 07** Evitar *tokens* com texturas ou confeccionado com materiais desagradáveis ou que tenham tamanho não condizente com o gesto dos usuários o pegarem com a mão ou manipulá-lo sobre o espaço determinado do tampo da mesa.
- Planejar o uso de cores nos *tokens* considerando a iluminação disponível no local onde está a mesa tangível e pessoas com algum grau de deficiência visual, como daltonismo, baixa visão.
- **ESP 07** Considerar os perfis de usuário que irão utilizar os *tokens* com relação ao material e forma. Evite formas pontiagudas ou materiais cortantes se crianças forem manipular os *tokens*, por exemplo.
- **EXP 10 - 11 - 12** Os usuários irão agrupar os *tokens* diferenciando-os por cores, tamanhos, formas e texturas. Utilizar esses agrupamentos para em cada um deles determinar tipos de ações diferentes e mantenha uma constância de comportamentos entre eles.

Com relação à quantidade (Graus de liberdade):

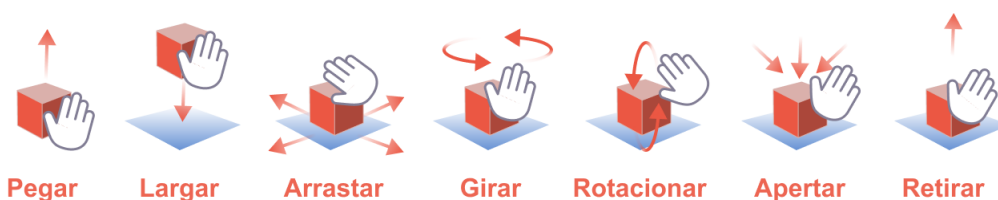
- **LIT 11** **EXP 11** Especificar a quantidade de *tokens* necessária para o cumprimento dos objetivos da aplicação, sendo que eles podem ser atribuídos a diferentes funções conforme o contexto, proporcionando aos usuários uma sensação maior de controle.
- **EXP 10** Definir a ação de cada *token* de modo individual e em conjunto com os demais numa dada linha do tempo, considerando que cada um inserido a mais é um grau de liberdade na escala de interações com a mesa tangível.
- **LIT 10** **LIT 11** **EXP 11** Reduzir os graus de liberdade pode melhorar o desempenho em tarefas mais simples, enquanto a adição de mais *tokens* pode melhorar a performance em tarefas mais complexas.
- **LIT 15** **ESP 06** Inserir mais graus de liberdade no projeto confere mais possibilidades de estímulo a colaboração entre usuários e contribuir para aumento de incertezas e falta de sensação de controle no processo de interação.

Com relação à interação do *token* com a mesa e demais manipuladores:

- **LIT 04 - 07 - 13** Disponibilizar os *tokens* ao redor da mesa auxilia o entendimento da conexão desses com o *constraint* (tampo da mesa), facilitando o acoplamento dos usuários a interação.

- **EXP 08** Padronizar comportamentos de *feedback* de *tokens* que tenham formas, cores ou materiais similares para manter consistência e aumentar sensação de controle pelos usuários.
- **ESP 04** Relacionar orientação de: textos, elementos gráficos, sejam de manipulação dos dados, ou de *feedback* de interação, ao local no qual o *token* é movimentado sobre a mesa, de modo que fique possível serem interpretados por aquele usuário específico que manipulou aquele objeto.
- **EXP 08** Definir a função de cada *token* no processo de interação com a mesa, sendo que suas características táteis, visuais devem colaborar nesse sentido.
- **ESP 06** **EXP 07** Especificar o comportamento do *token* ao ser colocado sobre a mesa tangível com um *feedback* visual, sonoro, háptico de sua ação sobre o dado computacional por ela disponibilizado.
- **ESP 06** Estabelecer relações de uso simples entre tipos de *tokens* e suas funções de manipulação dos dados na mesa. Usuários têm dificuldade de memorizar conjuntos complexos de ações em algo que não estão acostumados.
- **EXP 05** Planejar ações de cada *token* em relação aos demais e em relação a cada uma das áreas de atuação dos mesmos sobre a mesa tangível.
- **ESP 06** Utilizar *feedbacks* visuais ou sonoros na mesa, atrelados aos diversos *tokens*, visando determinar hierarquias de autoridade ou mediação de possíveis conflitos em interação por diversas pessoas ao mesmo tempo.
- **EXP 08** Determinar comportamentos dos *tokens* em relação à mesa que definam ações como: reiniciar o sistema, identificar e corrigir erros, finalização de uma tarefa ou etapa.

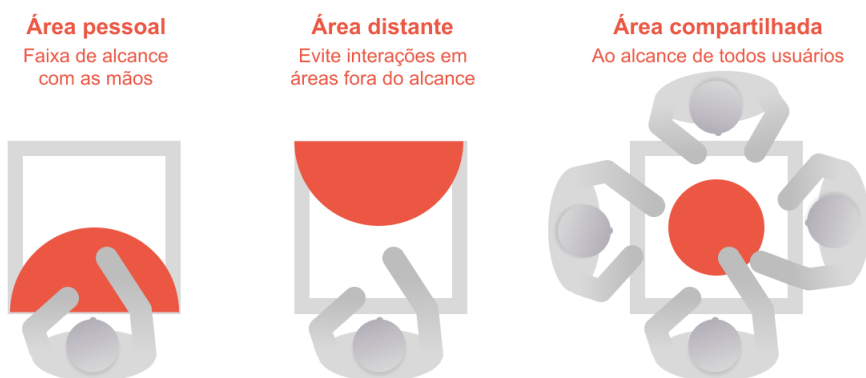
Com relação aos movimentos possíveis do *tokens* sobre a mesa tangível:



- **ESP 06** **EXP 08** Relacionar cada tipo de movimento do *tokens* a um determinado tipo de ação e reação com a mesa.
- **LIT 06** **EXP 08** Estabelecer analogias entre os objetos físicos e os movimentos possíveis de serem realizados com eles sobre a mesa.

- **LIT 06** **ESP 02 - 03 - 09** Usar da taticidade e tridimensionalidade dos objetos físicos para desenvolver e explorar formas de interação e movimentação relacionadas aquelas características.

6.2.4 Definindo restrições e comportamentos



- **LIT 07 - 09** **EXP 06** Planejar interações bimanuais (com as duas mãos) para ações que demandem maior produtividade ou agilidade de resolução.
- **LIT 07 - 09** **EXP 05 - 06** Especificar ações sobre a mesa tangível considerando a antropometria dos usuários. Uma criança, por exemplo, que está em um dos lados da mesa pode não alcançar (distância de ação do braço) ou interagir com um *token* do outro lado da mesa.
- **EXP 05** Explorar áreas próximas ao local onde o usuário está colocado ao redor da mesa como áreas pessoais ou individuais de interação, enquanto ações comuns ou compartilhadas entre vários usuários são executadas na área central da mesa tangível.
- **EXP 07 - 09** Gerar um *feedback* sonoro ou visual após interação de cada *token* no tampo da mesa que indique o sucesso ou erro da ação, pois isso auxilia no entendimento de tomadas de decisão e para saber quem está no comando da interação.
- **ESP 04** Planejar a orientação dos elementos gráficos, textuais, no tampo da mesa de modo a privilegiar leitura de todos os usuários que necessitem acesso aquela informação.
- Evitar cruzamento de braços por vários usuários simultaneamente durante a manipulação de *tokens* sobre a mesa tangível, pois essa ação diminui eficiência, mas, principalmente, gera confusão ou desconforto nos usuários.

- **EXP 05 - 06** Privilegiar interações com os *tokens* no raio de ação dos braços do usuário, de modo que não precise acessar áreas distantes ou inalcançáveis no tampo da mesa tangível.
- **EXP 05 - 06 - 07** Deixar claro, através das relações de *tokens* com a mesa tangível e entre os diversos usuários que interagem com a mesa simultaneamente, quem está no comando da interação. Esses conflitos são mediados por *feedbacks* visuais, sonoros na mesa ou com uso de um manipulador específico.
- **EXP 10** Definir transições entre atividades ou etapas e áreas pessoais ou compartilhadas no espaço do tampo da mesa.
- **LIT 13 EXP 05** Considerar que o acoplamento (arranjo) dos participantes ao redor da mesa e as características de personalidade entre os diversos usuários gera desdobramentos no uso da interação colaborativa e no desenvolvimento da consciência social.

6.2.5 Avaliação da aplicação

- Privilegiar a utilização de instrumentos que permitam que grupos de usuários sejam ouvidos sobre sua experiência de uso da aplicação na mesa tangível, como grupos focais, por exemplo. Desse modo, se considerará a capacidade colaborativa estimulada por essa interação.
- Determinar os objetivos de avaliação não só pelos aspectos técnicos de funcionamento da aplicação com a tecnologia, mas considerar seu contexto de uso e a capacidade de compreensão do mesmo pelos usuários.
- Ao utilizar instrumentos de avaliação já consolidados dentro da comunidade de IHC, considere fazer adaptações ao mesmo para considerar as particularidades de uma interação tangível em mesa.
- Considerar os objetos físicos e o tampo da mesa como elementos de interação e em como os usuários se relacionam com eles durante o processo de avaliação.
- Utilizar instrumentos de avaliação em conjunto, dependendo do contexto de uso específico daquela aplicação, perfil de usuário. Por exemplo, com crianças, um determinado instrumento não trará resultados enquanto com adultos pode funcionar.
- Verificar, através dos princípios de design de interação endereçados no DIMETA, se todos os aspectos do projeto da aplicação para mesa correspondem a essas heurísticas.

6.3 Validação de aplicabilidade

Com o objetivo geral de **validação a aplicabilidade prática dos princípios de design de interação para aplicações em mesa tangível**, foi realizado uma oficina de produção de aplicações em formato de Grupo Focal.

Como já relatado anteriormente, o Grupo Focal é uma técnica de pesquisa qualitativa que explora pontos de vista diversos, em um determinado grupo de participantes, sobre um determinado assunto ou conceito, discutindo uma determinada problemática. Possibilita-se, desse modo, uma aproximação entre o contexto de aplicação final do *Framework* DIMETA com o local prático no qual ele está inserido (BACKES et al., 2011).

Os objetivos específicos do Grupo Focal foram (a) apresentar o que é interação tangível e seu funcionamento em uma mesa tangível interativa; (b) prototipar uma aplicação para mesa tangível e (c) validar a utilização do *frameworks* DIMETA pelos participantes da oficina;

A dinâmica do Grupo Focal se estruturou em dois dias, sendo o primeiro mais focado na criação da aplicação sem nenhuma orientação projetual, somente com a apresentação geral do dispositivo e de como funciona a interação tangível, concentrando o segundo dia em apresentar o DIMETA e em como aplicá-lo.

Roteiro do primeiro dia:

- **1 – Apresentação inicial (20 min):** Breve explicação do funcionamento do *input/output* de dados com interação tangível, o que é uma mesa interativa tangível, contexto geral da pesquisa bem como delimitação e declaração de objetivo do Grupo Focal.
- **2 – Oficina de Criação (30 min):** Foi disponibilizado material para ilustrar o processo de criação de uma aplicação para mesa tangível. Cada aplicação deverá conter manipulação de dados computacionais por manipuladores tangíveis sobre a área de mesa.
- **3 – Apresentação da aplicação (30 min):** Cada grupo apresentou sua aplicação ilustrando-a por rascunhos, desenhos, encenando o uso da mesma na mesa.
- **4 - Discussão (20 min):** Ao final do primeiro dia realizou-se uma discussão final sobre como foi a experiência de projetar uma aplicação para mesa tangível.

A pergunta principal do primeiro dia do Grupo Focal focou em "*Quais os tipos de problemas encontrados no projeto de design de interação com esse dispositivo?*"

Já no segundo dia o roteiro de atividades foi:

- **1 – Apresentação framework DIMETA (15 min):** Conceituação e apresentação dos princípios projetuais para design de interação em aplicativos para mesas tangíveis DIMETA.
- **2 – Apresentação da ferramenta de autoria EDUBA (15 min):** Apresentação da ferramenta de autoria de aplicativos para mesas tangíveis Eduba e dicas para produção das aplicações desenvolvidas no primeiro dia.
- **3 – Oficina de Criação (30 min):** Foi disponibilizado o Eduba e o DIMETA para o redesign do projeto criado no dia anterior. Cada aplicação deverá conter manipulação de dados computacionais por manipuladores tangíveis sobre a área de mesa.
- **4 – Apresentação e discussão (30min):** Cada grupo apresentou o desenvolvimento da sua aplicação na ferramenta de autoria Eduba, bem como discutiu sobre as modificações realizadas na aplicação com o uso do DIMETA.
- **5 – Fechamento grupo focal:** Agradecimento e entrega de brinde por participação no grupo focal, ouvindo críticas e sugestões sobre o desenvolvimento da atividade.

Os questionamentos gerais do segundo dia do focam em *"Como foi a experiência de criar uma aplicação sem nenhuma orientação e após receber elas (DIMETA) seria mais fácil desenvolver a aplicação? Quais foram as maiores dificuldades iniciais? O quanto facilitaria receber as diretrizes projetuais desde o início da criação da aplicação?"*

O Grupo Focal ocorreu dentro do UFPel e envolveu 18 estudantes dos cursos de Engenharia e Ciência da Computação divididos em 3 grupos, mediados por dois pesquisadores que conduziram a entrega e apresentação do material, bem como organização das discussões e cronometragem dos tempos em cada etapa (Figura 66).

Todos os participantes nunca haviam utilizado ou experienciado o uso da interação tangível em uma mesa.

Cada um dos grupos recebeu um breve descritivo sobre a aplicação que deveriam desenvolver:

- **Grupo 01** - Aplicativo em mesa tangível para o ensino de formas geométricas básicas e suas aplicações no cotidiano. As crianças deverão ao final da atividade saber nomear e identificar as principais formas geométricas.
- **Grupo 02** - Aplicativo em mesa tangível para a educação financeira básica para crianças em um contexto do cotidiano. Ao final da atividade as crianças deverão ter a noção financeira básica de saber usar dinheiro para pagar compras e receber troco.

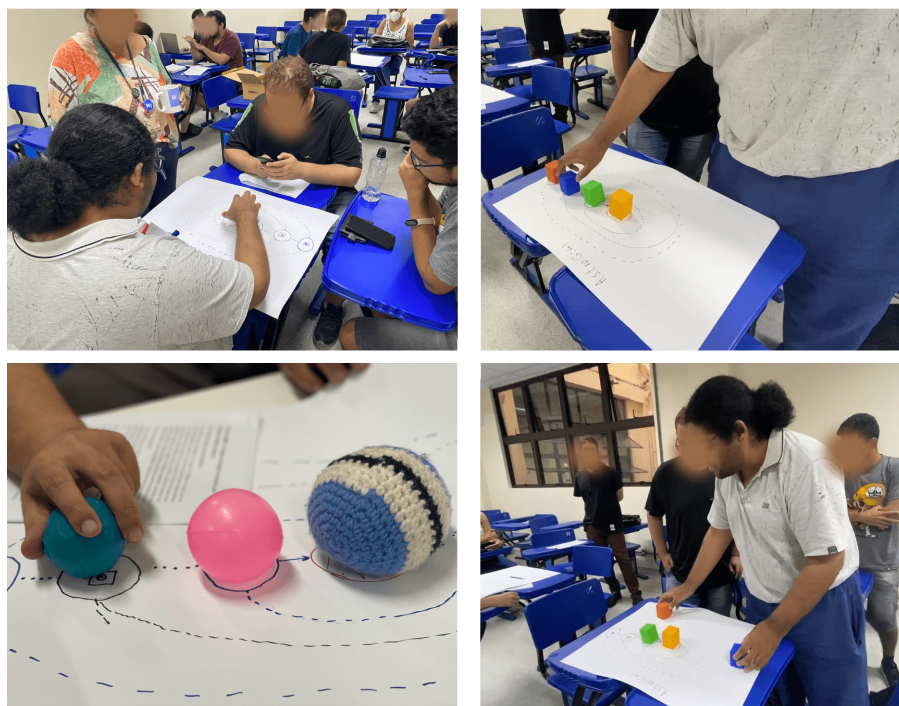


Figura 66 – Estudantes produzindo protótipo de baixa fidelidade de aplicação para mesa tangível. Fonte: Autor (2023)

- **Grupo 03** - Aplicativo em mesa tangível para o ensino de astronomia básica para crianças. Ao final da atividade as crianças deverão saber reconhecer os planetas do sistema solar, sua ordem em relação ao sol.

Esses contextos foram definidos para conferir uma utilização prática da aplicação a ser desenvolvida na oficina, além de ter um grau de comparação, através do uso do DIMETA, com aplicações com esse mesmo objetivo já disponibilizadas na plataforma de repositório de aplicações do Eduba ².

A final do primeiro dia de grupo focal, cada um dos grupos apresentou e encenou o uso de sua aplicação, explicitando o funcionamento e as mecânicas de interação envolvidas no processo. De modo geral, todos começaram o desenvolvimento a partir da escolha do objeto físico que seria manipulado na aplicação.

Como houve uma apresentação que nivelou os participantes a respeito do que é a mesa e como funciona uma interação tangível, os desafios iniciais foram transpor os objetivos das aplicações em algo que fosse manipulável com as mãos.

Com o direcionamento dado de perfil de usuário que iria utilizar as aplicações (crianças) percebeu-se nos grupos uma preocupação que os objetos funcionassem também como brinquedos, conferindo caráter lúdico a aplicação.

Nenhum dos grupos relatou dificuldades iniciais para desenvolver o projeto, contudo, ao serem confrontados com algumas observações de problemas de design de

²Disponível em <https://nidaba.online/system/share/>

interação nas aplicações pelos especialistas, observou-se que eles começaram a perceber que havia mais complexidade nesse processo do que imaginavam.

"Pois é, não havia pensado nesse texto aqui estar virado somente para esse lado. Quer dizer que a criança ali do outro lado pode ser que não consiga ler corretamente, e ainda mais sendo crianças que estão aprendendo a ler. Isso é um problema" - comentou um dos participantes do Grupo 02.

O segundo dia começou com uma apresentação sobre o *framework* DIMETA, seus objetivos, limitações e em como usá-lo. Solicitou-se que discutissem sobre os seus protótipos, avaliando-os quanto a possíveis modificações necessárias ocasionadas pelo conhecimento dos princípios de design de interação fornecidos.

Os grupos tiveram uma instrumentalização com a ferramenta Eduba e desenvolveram protótipos funcionais de parte de suas aplicações que foram apresentadas ao final do Grupo Focal, com uma discussão sobre a aplicabilidade do DIMETA.

O **Grupo 01** desenvolveu a aplicação que tinha por objetivo o ensino de formas geométricas básicas para as crianças, portanto o ponto de partida do projeto foi definir os *tokens* como objetos sólidos nessas formas. *"Um quadrado seria um quadrado mesmo, não um cubo, seria uma peça como uma placa no formato, aí a criança ao colocar no local específico da mesa ela dá retorno de texto e de áudio falando o nome da forma. A cada novo ciclo de interação as fases vão pedindo mais formas ou identificação dessas em cenários do dia a dia como identificar as formas em um desenho de carro. Se a criança põe no local exato um áudio e a cor de fundo fará ela entender que está correto ou errado"* - comentou o participante do Grupo 01.

Foi questionado pelos especialistas ao Grupo 01 qual seria a quantidade de usuários de *tokens* utilizada e qual a justificativa para essa escolha. *"Seriam triângulos, quadrados e círculos, dois de cada para não gerar uma confusão na criança e seria somente um usuário, de modo que facilitasse o engajamento dele com os tokens de um lado específico da mesa"*. - comentaram os participantes.

O principal aspecto evidenciado como mudança após a leitura das diretrizes contidas no DIMETA foi o material relacionado ao *token*. *"Havíamos pensado em fazer em madeira, mas lendo as diretrizes não nos parece uma boa ideia deixar crianças com pedaços grandes de madeira em suas mãos, mesmo que seja somente um a interagir, por vezes poderão haver várias crianças ao redor e inclusive elas poderão interagir juntas e acidentes acontecem. Melhor seria um material leve como isopor ou algo do tipo"* - falou um dos participantes do Grupo 01.

Outro aspecto relatado pelos participantes desse grupo foi que ao ler as diretrizes entenderam que poderiam explorar mais tipos de movimentos com os *tokens* sobre a mesa. *A gente leu as diretrizes e comentamos que só usamos pegar a forma e colocar no lugar, mas poderíamos explorar girar as formas, arrastar elas de um lugar ao outro, dessa forma entenderiam as formas geométricas como coisas que também*

tem movimento e não ficam estáticas.

O **Grupo 02** desenvolveu uma aplicação básica de educação financeira para crianças. O protótipo inicial de planejamento do Grupo 02 consistia em uma aplicação para duas crianças, uma de cada lado da mesa. *"O funcionamento se dá da seguinte forma, uma criança é o caixa de um mercado e outra está pagando produtos que ela comprou. Existe uma área na mesa com os objetos que podem ser comprados e que quando se coloca num cesto sobre a mesa ela contabilizaria o valor. Para pagamento e troco se utilizaria áreas específicas sobre a mesa na qual uma criança pagaria e a outra daria troco numa outra área."* - explicou um dos participantes do Grupo 02

Questionados sobre que tipos de objetos utilizariam como manipuladores tangíveis, a resposta do grupo foi que utilizar *tokens* como frutas, garrafas de refrigerante, etc. Posterior a apresentação do protótipo perceberam que poderiam usar produtos com maior interesse pelas crianças, como um pote de iogurte, caixas de doces, brinquedos, por exemplo. Com relação ao "dinheiro", eles fariam moedas de acrílico para diferenciar os valores pelo tamanho e pela cor com o número indicado nelas.

Quando apresentados as diretrizes, os participantes do Grupo 02 perceberam que toda sua lógica de interação estava confusa, pois haviam várias instruções textuais em várias direções e as crianças poderiam ficar confusas em identificar os dois papéis a serem desempenhados na aplicação. Adequaram o protótipo funcional da aplicação para uso de somente uma criança, a qual interage com a mesa colocando os objetos que quer "comprar" e a mesa dando os retornos de valores necessários aos pagamentos.

O **Grupo 03** fez uma aplicação para o ensino de astronomia com foco na ordenação dos planetas no sistema solar. *"Basicamente os tokens seriam os planetas e teriam uns marcadores para criança colocar eles e ir acertando a ordem deles em relação à distância do sol."* - comentou um dos participantes do Grupo 01

O formato, textura e tamanho desses *tokens* teriam relação direta aos próprios planetas - *"Lendo as diretrizes, parece mais lógico usar eles num tamanho proporcional em escala, com texturas que dessem dicas de como são esses planetas e uma coisa que planejamos, porém, não saberíamos como fazer, seria esses tokens terem uma temperatura. Mercúrio ser um planeta mais quente enquanto Júpiter é gelado."* - explicou um dos participantes.

A proposta do Grupo 03 foca exclusivamente na questão de experiência visual tátil com os planetas com *feedbacks* de áudio que geram situações de erros e acerto de posição (ocorre uma breve audiodescrição do planeta). Também eles planejaram, com o uso dos princípios projetuais, estágios iniciais na tela e de transições para iniciar a exploração do aplicativo. *"A ideia é que a criança ao chegar perto da mesa visse ali os planetas soltos e no tampo da mesa estaria o sol pulsando com a tela escura, meio que fazendo um convite para elas irem brincar com os planetas."*

Esse entendimento sobre os manipuladores e explorar diversos sentidos, como temperatura e textura dos *tokens*, só foi planejada pelo Grupo 03, sendo que nenhum dos outros participantes pensou em estimular outros sentidos nos usuários. Os outros grupos poderiam ter explorados elementos de escrita em alto-relevo, por exemplo, nas formas geométricas ou no dinheiro utilizado para comprar produtos.

O Apêndice O - Grupo focal - Análise de aplicabilidade do DIMETA apresenta um comparativo de análise em como cada um dos grupos aplicou o uso das diretrizes em cada uma das etapas de desenvolvimento da atividade ³. Percebe-se através da comparação que a criação da aplicação sem o uso das diretrizes explora principalmente algumas características da interação com a mesa ligadas exclusivamente ao *token*, sem considerar os demais aspectos gerais do dispositivo, como o espaço ao redor, por exemplo.

Ao serem apresentados ao DIMETA, todos os grupos processaram algum ajuste ao planejamento inicial do aplicativo, sendo que a maioria das diretrizes é contemplada através do conhecimento dessas. No geral, os aplicativos exploram mais as potencialidades e características possibilitadas pela mesa tangível, e fica perceptível os benefícios de contar com essa ferramenta no momento do projeto de design de interação.

Ao encerrar as discussões, um dos mediadores do Grupo Focal questionou os voluntários sobre a clareza dos textos e se ficou evidente que as diretrizes propostas seriam úteis para projetar uma aplicação para interface tangível em uma mesa.

Os participantes responderam que não tiveram dificuldades em entender a linguagem utilizada e concordaram que as diretrizes apresentadas ajudam no processo do design de interação com essa dinâmica. Um dos voluntários destacou que a existência de uma base de pesquisa ajuda a diminuir o retrabalho e encurta o caminho para criar essa interface mais rapidamente. Já outra voluntária sugeriu que a apresentação das diretrizes poderia ser ilustrada para facilitar a compreensão.

De maneira geral, a atividade do Grupo Focal foi considerada positiva, uma vez que validou a aplicabilidade das diretrizes propostas com o perfil de público que utilizará o resultado desse trabalho. Além disso, novas percepções foram revisitadas e sugestões para o arranjo do design de interação foram apresentadas.

Ficou evidenciado que o DIMETA não limita a criatividade ou as potencialidades oportunizadas pela interação com a mesa tangível, mas, sim, oportuniza o desenvolvimento das aplicações de forma mais eficiente e com menos possibilidades de erros.

³Disponível também em <https://bit.ly/3N8WySP>

7 CONCLUSÕES

O objetivo desse capítulo é apresentar e discutir as conclusões e contribuições sobre o desenvolvimento dessa Tese. A seção a seguir discute os resultados acerca, as questões de pesquisa e os objetivos inicialmente elencados (Item 7.1); segue com uma discussão sobre a validade dos resultados sob a perspectiva do RtD (Item 7.2), apresenta as contribuições gerais (Item 7.3) e as limitações da tese (Item 7.4); finalizando com as oportunidades de desdobramentos em trabalhos futuros (Item 7.5)

7.1 Discussão sobre os objetivos e questões de pesquisa

Todo o desenvolvimento desse trabalho teve por objetivo **propor um framework (DIMETA) com princípios para o Design de Interação de aplicações para MESas TAngíveis**. Nesse sentido, o cumprimento de todos dos objetivos específicos, listados a seguir, conferem uma base sólida na proposição do produto final da Tese.

- ✓ **OE1** - Caracterizar, identificar, especificar como ocorre o processo de interação em uma mesa tangível;
- ✓ **OE2** - Analisar as diferenças/semelhanças entre as abordagens projetuais existentes para GUI e TUI (mesa tangível)
- ✓ **OE3** - Coletar as práticas projetuais desenvolvidas por designers de interação no uso do dispositivo de mesa interativa;
- ✓ **OE4** - Experimentar os processos de design de interação relacionados ao objeto da mesa tangível com tecnologia de reconhecimento de imagem;
- ✓ **OE5** - Propor princípios projetuais para o design de interação de aplicações em mesas tangíveis.

Com relação às questões de pesquisa e aos objetivos específicos podemos concluir:

- **QP1 - Quais são as características de uma interação tangível em uma mesa tangível e o que a difere de outras formas de interação?** Foi respondida dentro da pesquisa bibliográfica do Capítulo 3 - Arcabouço Teórico, mas principalmente dentro dos itens 4.1, 4.2 e 4.7, contidos no Capítulo 4. Com isso cumpriram-se os objetivos específicos: **OE1 e OE2**;
- **QP2 Como os métodos projetuais de design de interação consideram as especificidades da interação tangível em dispositivos tais como a mesa tangível?** O item 3.1.2 apresenta as diferentes abordagens projetuais para o design de interação já utilizadas, com o item 3.2.2 destacando os *frameworks* conceituais gerais sobre TUIs. Essa fundamentação ganha espaço no Capítulo 4 - Mesas tangíveis, no qual discute-se (no item 4.8) a falta de uso das especificidades das mesas tangíveis nas metodologias de design de interação apresentadas anteriormente. Além disso, os experimentos práticos do Capítulo 5 - Ciclos iterativos de experimentos, revelam a carência de ferramentas que auxiliem o processo de design de interação para esse dispositivo. Dessa forma cumpriram-se os **OE3 e OE4**;
- **QP3 Como projetar uma interface tangível do usuário utilizando como dispositivo de entrada/saída uma mesa tangível?** Com o desenvolvimento dos ciclos iterativos de experimentos, geraram-se subsídios práticos e artefatos teóricos para a construção do *framework* DIMETA, cumprindo desse modo **OE5**;

Além da perspectiva do cumprimento dos objetivos e resolução de perguntas de pesquisa, cabe uma discussão sobre o desenvolvimento do processo de construção desse trabalho utilizando a metodologia *Research Trought Design*.

7.2 Validação de resultados através do RtD

Resgatando o Capítulo 2 - Estratégia de pesquisa, a intenção de se desenvolver uma pesquisa científica é produzir conhecimento contribuindo para a comunidade científica e aos profissionais envolvidos na área. Nesse sentido, o RtD amplia as possibilidades de envolvimento desses especialistas e da teoria reflexiva na construção prática. A reprodução e integridade dos resultados alcançados é garantida pelo processo desenvolvido com essa metodologia, guiadas pelas diretrizes abaixo:

- **Processo:** ao documentar suas contribuições, os pesquisadores devem fornecer detalhes suficientes para que o processo utilizado possa ser reproduzido;
- **Invenção:** a contribuição da pesquisa deve constituir uma invenção significativa;
- **Relevância:** o trabalho realizado deve ser enquadrado no mundo real e articular o estado preferido que a pesquisa tenta alcançar;

- **Extensibilidade:** é definida pela capacidade de construir sobre os resultados dessa pesquisa através do design.

Com relação ao **processo** de documentação das contribuições, essa Tese foi construída principalmente através das revisões sistemáticas de literatura, fundamentadas na teoria e validadas na prática. As duas RSL desenvolvidas em conjunto com essa Tese permitiram uma delimitação e aprofundamento do *gap* de pesquisa, bem como documentaram de forma sistêmica, documentando em detalhes todo o processo.

A primeira RSL sobre processos de avaliação em TUI (Apêndice B) permitiu um entendimento da complexidade de estudo da área de interação tangível e dos diversos gêneros e plataformas de pesquisa ofertados por essa interação. Com os resultados dessa RSL, percebeu-se que as mesas tangíveis foram o meio através do qual a maioria das pesquisas são desenvolvidas, o que motivou o desenvolvimento da segunda RSL especificamente focada nesse dispositivo para aprofundamento na busca de oportunidades de pesquisa.

Ao desenvolver a RSL com foco em definições do estado da arte das mesas tangíveis (Apêndice A), identificou-se a falta de diretrizes para o design de interação de aplicações nesse meio de forma organizada. Mesmo com a utilização das mesas tangíveis em vários contextos e com todo o potencial a ser explorado de uso (**relevância**), como estímulo a colaboração e uso de vários sentidos, as metodologias e estruturas já existentes relacionadas ao design de interação em geral ou em relação as TUIs não dão conta das particularidades desse artefato. A partir dessas conclusões, pôde-se buscar a teoria que fundamentasse o aprofundamento da investigação nesse *gap* de pesquisa e o desenho do cenário para os experimentos práticos.

Ao contribuir dentro da área de IHC, o DIMETA se propõe ser o primeiro guia geral de design de interação para mesas tangíveis (**invenção**), estabelecendo os primeiros passos em um processo de evolução desse campo de pesquisa. Haverá evolução nas tecnologias de implementação para mesas tangíveis e na forma como elas serão utilizadas pelas pessoas, contudo a construção de novos padrões de design ou do desenvolvimento de novas pesquisas que envolvam design de interação nesse contexto poderão utilizar o DIMETA como uma base de partida (**extensibilidade**).

7.3 Contribuições da tese

O principal objetivo do design de interação é propiciar as condições para que os usuários tenham a melhor experiência ao utilizar determinada tecnologia computacional através de uma interface. Entende-se experiência do usuário não só a partir de características funcionais da interface, mas sensações e sentimentos. Nesse sentido, a **contribuição principal dessa tese é propor diretrizes que auxiliem designers de interação e desenvolvedores na proposição de aplicações em mesa tangí-**

vel com uma experiência de uso que não desperdice as potencialidades gerais possibilitadas por essa forma de interação.

Sobre os desafios gerais e dificuldades citadas no item 1.1 acerca da implementação e projeto de TUIs, cabe uma discussão acerca das contribuições dessa Tese em relação a elas pela perspectiva de desenvolvimento do *framework* DIMETA para mesas tangíveis.

As **conexões entre o virtual e o físico, a padronização de dispositivos de I/O** através das tecnologias de CV e dos *toolkits* de implementação já desenvolvidos anteriormente, criam condições para surgimento e evolução no processo de construção de mesas tangíveis mais customizadas ao contexto no qual serão inseridas. Isso possibilita um crescimento em escala para difusão maior desse dispositivo, sua forma de interação e o desenvolvimento de aplicações que podem ser planejadas com o uso do DIMETA .

As contribuições dos *toolkits* de implementação como o TUIO e o reacTIVision, juntamente com a ferramenta de autoria Eduba, criam condições para que diversas mesas tangíveis **tenham intercambiabilidade de aplicações entre elas**. Apesar das mesas ainda não serem dispositivos portáteis, a utilização de padrões de arquitetura construtiva, do ponto de vista de software e abordagem de hardware, possibilitam a portabilidade das aplicações. Por exemplo, a aplicação Atualegoria criada para o Museu do Doce pode ser instalada em outra mesa tangível de outro museu, desde que garantidas as condições previamente discutidas.

Os desafios endereçados as TUIs que funcionam por **interações contínuas e distribuídas com múltiplos comportamentos e ações** tentam ser respondidas em boa parte pelo *framework* DIMETA com relação a abordagem de mediação de conflitos durante o processo de design de interação das aplicações. Ao utilizar as diretrizes, estimula-se o uso planejado de objetos físicos em contexto com a aplicação, os quais tenham comportamentos padronizados que serão incorporados ao modelo mental dos usuários conforme sua manipulação. Definir de maneira clara o que faz cada objeto, manter consistência e padrões, criar hierarquias de autoridade com uso de *feedbacks* ou *tokens* específicos possibilita que os usuários tenham mais segurança na manipulação dos mesmos.

Enquanto as estruturas criadas anteriormente são genéricas em relação as TUIs e tentam criar formas de melhor entendimento numa abordagem conceitual dessa forma de interação, contribuindo significativamente nesse sentido, o *framework* DIMETA se apresenta não só como uma forma de entendimento dos elementos constituintes da interação com a mesa tangível, como também oferece uma lista de princípios cujo objetivo é mitigar ou mediar parte dos desafios anteriormente relacionados.

A plataforma tecnológica oferecida pela mesa tangível com os *toolkits* de implementação não conferem por si só condições para desenvolver um projeto de design

de interação de aplicação que seja preocupado com todas as particularidades dessa forma de interação. Existem os meios de produção a aplicação, porém não havia uma orientação de como bem utilizá-los.

Outra contribuição prática com o desenvolvimento da tese foi a produção de uma mesa tangível, com tecnologia de CV, *tokens* passivos, para uso geral dentro da UF-Pel. Existe o planejamento de construção de mais algumas mesas tangíveis em outros locais da universidade com finalidades diversas, desde conferir acessibilidade a determinados conteúdos programáticos em alguns cursos até explorar acervos instalados nos diversos museus da rede da própria universidade.

Com o uso da plataforma NIDABA criaram-se uma série de aplicações que utilizam os benefícios da interação tangível no contexto de espaço de mesa. Isso oportunizou uma nova plataforma de experiência com o museu e seu acervo, local no qual a mesa tangível está inserida, bem como ser uma plataforma/dispositivo de pesquisas e experimentos.

A mesa tangível estar disponível em um espaço cultural educacional, em um museu, oportunizou a transferência e apropriação dessa tecnologia pela comunidade de estudantes e visitantes. Diversas ações envolvendo essa comunidade foram iniciadas visando potencializar o uso dessa plataforma de interação com objetivos educacionais diversos.

Outro aspecto relevante é que a plataforma construtiva da mesa se mostrou sólida e com disponibilidade. A mesa está no museu já há mais de 9 meses com somente duas intercorrências de operação (câmera não ligou ou ficou descalibrada) em todo esse período, o que demonstra que o sistema da mesa pode ser operado por não especialistas em computação, desde que conferidas as condições corretas. Único senão a confiabilidade do uso de aplicações na mesa tangível é a qualidade de impressão dos *tokens* utilizados. O desgaste natural de manipulação desses fiduciais sobre o tampo da mesa demanda uma atenção e verificação contínua das condições de funcionamento dos mesmos para identificação pela mesa (Figura 67).



Figura 67 – Desgaste apresentado pelo fiducial anexado ao *token* gerado pela manipulação desse sobre a mesa. Fonte: Autor (2023)

Por fim, cabe ressaltar que apesar das diretrizes do DIMETA serem prescritivas, genéricas dentro de contextos de aplicações para mesas tangíveis, elas não devem ser limitadoras de criatividade ou busca de novas abordagens de interação que usem essa forma de interação. Pode ser que em um determinado tipo de aplicação, num dado contexto e com um tipo de perfil de usuário, algumas dessas orientações possam ser subvertidas. Como já elencado anteriormente, essa é uma das premissas gerais do DIMETA, ser flexível e adaptável a contextos conforme necessidade dos desenvolvedores e designers de interação.

Como contribuições teóricas geradas a partir da discussão do tema dessa Tese com a área de interação tangível publicaram-se os seguintes artigos:

- **Mesa tangíveis interativa: implementação e experimentações em espaços culturais e educativos** (COSTA; SILVA; TAVARES, 2022) no *International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design (Graphica 2022)*
- **The potential of user experience (UX) as an approach of evaluation in tangible user interfaces (TUI)** (COSTA et al., 2019) no *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (HCI 2019)*
- **Methodologies and evaluation tools used in tangible user interfaces: A systematic literature review** (COSTA et al., 2018) no *Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC 2018)*
- **Tangible interfaces: an analysis of user experience using the AR sandbox project** (DARLEY et al., 2017) no *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (HCI 2017)*
- **Doce Labirinto: Experiência de jogo utilizando interação baseada em movimentos da cabeça e recursos tangíveis** (CARDOSO et al., 2016) no *Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGAMES 2016)*

7.4 Limitações do trabalho

Apesar das diretrizes apresentadas potencialmente terem aplicação a diversos contextos relacionados a interação compartilhada em superfícies, como em mesas multitoque interativas, por exemplo, o cenário de uso prioritário do DIMETA é relacionado a interação tangível em mesas.

Existem diversas abordagens tecnológicas para a construção de mesas tangíveis, sendo que a escolha na construção dessa tese foi orientada pela utilização da abordagem de reconhecimento de objetos através da visão computacional. Essa escolha foi orientada por três aspectos: (a) foi a abordagem mais utilizada nos estudos recentes representados nas duas RSL desenvolvidas em conjunto a essa tese e (b) custo x benefício de construção da infraestrutura que utiliza tecnologias disponíveis e (c)

possibilidade de evolução conforme o desenvolvimento dessas tecnologias e também operar em conjunto com demais sem prejuízo.

O acoplamento entre as informações digitais e os objetos se dá através dos fiduciais, sendo que o *feedback* ou a visualização dos dados computacionais se dá através da representação intangível (reprodução de áudio e projeção de elementos visuais no tampo da mesa). Isso condiciona a utilização de *tokens* passivos, limitando a aplicação do DIMETA nesse cenário e condiciona certos padrões e preocupações (como fixar o fiducial no objeto, por exemplo).

A utilização dos fiduciais é um aspecto técnico que também deve ser administrado, já que normalmente sua utilização ocorre com imagens desses de forma impressa. Ocorrem desgastes naturais de manipulação dos *tokens* na mesa e uma verificação sistemática deve ser feita para identificar e substituir fiduciais que estejam desgastados e que não sejam mais identificados pela mesa.

Com relação a uma quantidade máxima ou mínima de usuários e *tokens* envolvidos no design da aplicação para mesa tangível, o *framework* DIMETA propõe, através de seus princípios projetuais, um uso contextualizado e reflexivo dessas variáveis. Percebeu-se através dos diversos estudos e da prática experimental que excesso de graus de liberdade geram insegurança e sensação de falta de controle na experiência de uso com a mesa tangível.

O uso do DIMETA é preferencialmente indicado para designers de interação, desenvolvedores e pesquisadores da área de IHC e comunidade em geral que tenham o interesse em projetar aplicações para mesas tangíveis. Ferramentas como a plataforma EDUBA tendem a ampliar o leque de atores envolvidos no desenvolvimento de aplicações nesse contexto, porém, por si só, **o DIMETA não é um guia de ensino de design de interação para usuários em geral.**

De forma alguma, utilizar o *framework* DIMETA pressupõe não haver mais necessidade de processos avaliativos no design de interação das aplicações com ele desenvolvidas. Todo e qualquer projeto de interfaces deve efetuar seus ciclos de avaliação e as discussões propostas no item 3.2.3, nas próprias sugestões nas diretrizes, jogam luz sobre as especificidades que caracterizam esse processo em uma interface tangível.

Não há como garantir que usar o DIMETA confere automaticamente uma melhor UX a aplicação criada segundo seus princípios. Potencialmente, se aplicadas suas diretrizes adequadamente, a probabilidade de um projeto de aplicação ser mais consistente e com menos margem a erros aumenta.

7.5 Trabalhos futuros

As contribuições geradas por essa Tese são mais alguns passos com relação às pesquisas desenvolvidas pela comunidade de IHC sobre TUIs. Mesmo sendo uma área de pesquisa com mais de duas décadas de pesquisa, os desafios tecnológicos, de construção de modelos mentais para utilização dessa forma de interação não estão consolidados.

Como já comentado, as diversas estruturas existentes, direcionam grande parte dos esforços na perspectiva de desenvolvimento de tecnologias para reconhecimento dos objetos físicos e para incorporação dos dados digitais sobre eles. *Toolkits* de implementação para mesas tangíveis já conferem a esses dispositivos a possibilidade de construção dos mesmos de forma mais consistente, gerando condições de intercambiabilidade de aplicações entre vários desses dispositivos.

Se por um lado a maioria dos gêneros de TUIs está muito ligada ao dispositivo no qual existem e a um cenário específico de uso, mesas tangíveis são mais adaptáveis/flexíveis a receber diversas aplicações em vários contextos, construídas com abordagens tecnológicas semelhantes, justificando o esforço dessa Tese em construir princípios de design de interação para projetos nessa plataforma.

As diretrizes apresentadas no DIMETA são a base para construção de interações com a mesa tangível, porém ainda não são padrões de design gerais que regem todas as aplicações desenvolvidas. Nesse sentido cabe descrever algumas das possibilidades de desdobramentos dessa pesquisa em novos trabalhos:

- Utilização do DIMETA como base para experimentos de busca de padrões de design que considerem os modelos mentais imaginados pelos usuários. Com padrões gestuais, de interação, de atribuição de função específicas a tokens específicos, criam-se novas possibilidades de construções de aplicações de forma modular em TUI para mesas tangíveis, tal como o WIMP é para a GUI.
- Os *toolkits* de implementação funcionam dentro do SO de um computador pessoal instalado no interior da mesa. Se vislumbra a possibilidade de criação de um sistema operacional próprio, que considere operar especificamente para mesa tangível, com a utilização dos módulos já definidos de padrões de interação.
- Dentro de um dos experimentos realizados nessa Tese, em conjunto com o Trabalho de Conclusão de Curso de um aluno da Ciência da Computação, desenvolveu-se uma aplicação para mesa tangível que também explorava a interface por realidade mista. Nesse aplicação experimental combinou-se a visualização de elementos virtuais sobre a mesa (uso de *smartphones* acoplados em óculos de VR) aos objetos físicos reais tangíveis. Percebe-se aqui uma oportunidade de aprofundamento e de possibilidades para a investigação desses tipos

de interfaces operando em conjunto.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, L. B. **Avaliação da perspectiva do usuário em interfaces tangíveis: um estudo comparativo em sistemas baseados em hardware específico e sistemas mediados por software**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Pelotas.
- ALBERT, W.; TULLIS, T. **Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics**. [S.l.]: Newnes, 2013.
- ANTLE, A. N. The CTI framework: informing the design of tangible systems for children. In: TANGIBLE AND EMBEDDED INTERACTION, 1., 2007. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007. p.195–202.
- APPERT, C.; PIETRIGA, E.; BARTENLIAN, E.; GONZÁLEZ, R. M. Custom-made tangible interfaces with touchtokens. In: OF THE 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED VISUAL INTERFACES, 2018. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2018. p.1–9.
- ARIF, A. S. et al. Sparse Tangibles: Collaborative Exploration of Gene Networks Using Active Tangibles and Interactive Tabletops. In: TEI '16: TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2016, New York, NY, USA. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2016. p.287–295. (TEI '16).
- BACKES, D. S.; COLOMÉ, J. S.; ERDMANN, R. H.; LUNARDI, V. L. Grupo focal como técnica de coleta e análise de dados em pesquisas qualitativas. **O mundo da saúde**, [S.l.], v.35, n.4, p.438–42, 2011.
- BAGNARA, S.; SMITH, G. C. **Theories and practice in interaction design**. [S.l.]: CRC press, 2006.
- BARANAUSKAS, M. C.; HAYASHI, E. C. S. . **Design da interação e ambientes de aprendizagem baseados em tecnologia – Informática na Educação**. Disponível em: <<https://ieducacao.ceie-br.org/designinteracao/>>. Acesso em: 2022-08-19.

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

BELLOTTI, V. et al. Making sense of sensing systems: five questions for designers and researchers. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2002. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2002. p.415–422.

BENYON, D. **Designing interactive systems**: A comprehensive guide to HCI, UX and interaction design. [S.l.: s.n.], 2013.

BONILLO, C.; ROMÃO, T.; CERESO, E. Persuasive games in interactive spaces: The hidden treasure game. In: XX INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN COMPUTER INTERACTION, 2019. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2019. p.1–8.

BOTTINO, A.; MARTINA, A.; STRADA, F.; TOOSI, A. GAINÉ—A portable framework for the development of edutainment applications based on multitouch and tangible interaction. **Entertainment Computing**, [S.l.], v.16, p.53–65, 2016.

BOUABID, A.; LEPREUX, S.; KOLSKI, C. Distributed tabletops: Study involving two rfid tabletops with generic tangible objects. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEB ENGINEERING, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.167–173.

BRENDA, L. **Design Research**: Methods and Perspectives. [S.l.]: The MIT Press, 2003.

BROOKE, J. et al. SUS-A quick and dirty usability scale. **Usability evaluation in industry**, [S.l.], v.189, n.194, p.4–7, 1996.

CARDOSO, R. C. et al. Doce labirinto: Experiencia de jogo utilizando interação baseada em movimentos da cabeça e recursos tangíveis. **XV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital**, [S.l.], p.563–572, 2016.

COOPER, A.; REIMANN, R.; CRONIN, D.; NOESSEL, C. **About face**: the essentials of interaction design. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014.

COSTA, V. K. da et al. The Potential of User Experience (UX) as an Approach of Evaluation in Tangible User Interfaces (TUI). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2019. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2019. p.30–48.

COSTA, V. K. da; SILVA, A. B. da; TAVARES, T. A. Mesa tangíveis interativa: implementação e experimentações em espaços culturais e educativos. In: GRAPHICA 2022 - XIV INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 2022. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2022.

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, 17., 2018. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2018. p.1–9.

DARLEY, N. T. **Perspectivas de uso de métodos de avaliação por usabilidade e UX no domínio da AR Sandbox**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Pelotas.

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.

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.

DE RAFFAELE, C.; SMITH, S.; GEMIKONAKLI, O. Enabling the effective teaching and learning of advanced robotics in higher education using an active TUI framework. In: AFRICA AND MIDDLE EAST CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING, 3., 2017. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2017. p.7–12.

DOCE, M. do. **Museu do Doce - Acervos e Coleções**. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/museudodoce/>>. Acesso em: 2022-09-21.

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

DU, J.; RIT, I. Tangible Reels : Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users. **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**, [S.l.], v.2016, n.May, 2016.

DUQUE, E. et al. A systematic literature review on user centered design and participatory design with older people. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 18., 2019. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2019. p.1–11.

EHLENZ, M. et al. The Lone Wolf Dies, the Pack Survives? Analyzing a Computer Science Learning Application on a Multitouch-Tabletop. **Proceedings of the 18th Koli Calling International Conference on Computing Education Research**, [S.l.], 2018.

FALCÃO, T. P. et al. Tangible tens: Evaluating a training of Basic numerical competencies with an interactive tabletop. **Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings**, [S.l.], v.2018-April, p.1–12, 2018.

FISHKIN, K. P. A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. **Personal and Ubiquitous computing**, [S.l.], v.8, n.5, p.347–358, 2004.

FITZMAURICE, G. W.; ISHII, H.; BUXTON, W. A. Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 1995. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1995. p.442–449.

FONTANELLA, B. J. B. et al. Amostragem em pesquisas qualitativas: proposta de procedimentos para constatar saturação teórica. **Cadernos de saúde pública**, [S.l.], v.27, p.388–394, 2011.

GALITZ, W. O. **The essential guide to user interface design**: an introduction to GUI design principles and techniques. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007.

GARRET, J. J. The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond. **Berkeley, CA: New Riders**, [S.l.], 2011.

GIL, A. C. **Estudo de caso**. [S.l.]: Atlas, 2009.

GUIARD, Y. Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model. **Journal of motor behavior**, [S.l.], v.19, n.4, p.486–517, 1987.

HARTSON, H. R. Human–computer interaction: Interdisciplinary roots and trends. **Journal of systems and software**, [S.l.], v.43, n.2, p.103–118, 1998.

HASSENZAHL, M. User experience(UX): towards an experiential perspective on product quality. **Proceedings of the 20th Conference on Interaction Homme-Machine**, [S.l.], p.11–15, 2008.

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.

HINCKLEY, K. et al. Cooperative bimanual action. In: ACM SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 1997. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997. p.27–34.

HORNECKER, E.; BUUR, J. Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction. **Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems**, [S.l.], p.437–446, 2006.

ISHII, H. The tangible user interface and its evolution. **Communications of the ACM**, [S.l.], v.51, n.6, p.32–36, 2008.

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.; 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.

ISO9241-11. **Ergonomic requirements for office work with visualdisplay terminals (VDTs): Part 11: Guidance on usability [Internet]. International publisher for Standardization** . Disponível em: <<https://www.iso.org/home.html>>.

IXDA. **The Interaction Design Association - About Us and History**. Disponível em: <<https://www.ixda.org/ixda-global/about-history/>>. Acesso em: 2022-09-26.

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.

JORDÀ, S.; GEIGER, G.; ALONSO, M.; KALTENBRUNNER, M. The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. In: TANGIBLE AND EMBEDDED INTERACTION, 1., 2007. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007. p.139–146.

JORDAN, P. W. **Designing pleasurable products**: An introduction to the new human factors. [S.l.]: CRC press, 2003.

JØRGENSEN, A. H. Thinking-aloud in user interface design: a method promoting cognitive ergonomics. **Ergonomics**, [S.l.], v.33, n.4, p.501–507, 1990.

KALTENBRUNNER, M. reacTIVision and TUIO: a tangible tabletop toolkit. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE TABLETOPS AND SURFACES, 2009. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009. p.9–16.

KALTENBRUNNER, M.; BENCINA, R. reacTIVision: a computer-vision framework for table-based tangible interaction. In: TANGIBLE AND EMBEDDED INTERACTION, 1., 2007. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007. p.69–74.

KALTENBRUNNER, M. et al. TUIO: A protocol for table-top tangible user interfaces. In: THE 6TH INT'L WORKSHOP ON GESTURE IN HUMAN-COMPUTER INTERACTION AND SIMULATION, 2005. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2005. p.1–5.

KAYA, E.; ALACAM, S.; FINDIK, Y.; BALCISOY, S. Low-fidelity prototyping with simple collaborative tabletop computer-aided design systems. **Computers & Graphics**, [S.l.], v.70, p.307–315, 2018.

KAYA, E.; ALACAM, S.; FINDIK, Y.; BALCISOY, S. Low-fidelity prototyping with simple collaborative tabletop computer-aided design systems. **Computers and Graphics (Pergamon)**, [S.l.], v.70, p.307–315, 2018.

KEELE, S. et al. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. [S.l.]: Technical report, ver. 2.3 ebse technical report. ebse, 2007.

KOLEVA, B.; BENFORD, S.; NG, K. H.; RODDEN, T. A framework for tangible user interfaces. In: PHYSICAL INTERACTION (PI03) WORKSHOP ON REAL WORLD USER INTERFACES, 2003. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2003. p.46–50.

KOLKO, J. **Thoughts on interaction design**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2010.

KREYLOS, O. et al. The AR sandbox: augmented reality in geoscience education. In: AGU FALL MEETING ABSTRACTS, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. v.2016, p.ED51H–0843.

KUBICKI, S. et al. TangiSense: présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASSOCIATION FRANCOPHONE D'INTERACTION HOMME-MACHINE, 21., 2009. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009. p.351–354.

LI, Y. et al. A meta-analysis of tangible learning studies from the tei conference. In: SIXTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2022. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2022. p.1–17.

MACHADO, M. B. et al. An adaptive hardware and software based human computer interface for people with motor disabilities. **IEEE Latin America Transactions**, [S.l.], v.17, n.09, p.1401–1409, 2019.

MANSHAEI, R. et al. Tangible BioNets: Multi-surface and tangible interactions for exploring structural features of biological networks. **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, [S.l.], v.3, n.EICS, 2019.

MAQUIL, V. et al. COPSE: Rapidly instantiating problem solving activities based on tangible tabletop interfaces. **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, [S.l.], v.1, n.EICS, p.1–16, 2017.

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.; 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.

MARCO, J.; BALDASSARRI, S.; CERREZO, E. NIKVision: Developing a Tangible Application for and with Children. **J. Univers. Comput. Sci.**, [S.l.], v.19, n.15, p.2266–2291, 2013.

MARCONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. [S.l.]: 5. ed.-São Paulo: Atlas, 2003.

MAZALEK, A.; VAN DEN HOVEN, E. Framing tangible interaction frameworks. **AI EDAM**, [S.l.], v.23, n.3, p.225–235, 2009.

MEHTA, M. et al. Active pathways: Using active tangibles and interactive tabletops for collaborative modeling in systems biology. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE SURFACES AND SPACES, 2016., 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p.129–138.

MELO, A. M.; BARANAUSKAS, M. C. C. Design e avaliação de tecnologia web-acessível. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 2005. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2005. v.25, p.1500–1544.

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).

NORMAN, D. A. Cognitive artifacts. **Designing interaction: Psychology at the human-computer interface**, [S.l.], v.1, n.1, p.17–38, 1991.

PAPADAKI, E.; NTOA, S.; ADAMI, I.; STEPHANIDIS, C. Let's Cook: An Augmented Reality System Towards Developing Cooking Skills for Children with Cognitive Impairments. In: LECTURE NOTES OF THE INSTITUTE FOR COMPUTER SCIENCES, SOCIAL-INFORMATICS AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING, LNICST, 2018. **Anais...** Springer Verlag, 2018. v.233, p.237–247.

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.

PLOMP, T.; NIEVEEN, N. M. **An introduction to educational design research**: Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai (PR China), November 23-26, 2007. [S.l.]: Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO), 2010.

PRATES, R. O.; BARBOSA, S. D. J. Avaliação de interfaces de usuário—conceitos e métodos. **Jornada de Atualização em Informática do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Capítulo**, [S.l.], v.6, p.28, 2003.

PRATES, R. O.; SOUZA, C. S. de; BARBOSA, S. D. Methods and tools: a method for evaluating the communicability of user interfaces. **interactions**, [S.l.], v.7, n.1, p.31–38, 2000.

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

PREUSS, E. et al. E-DUB-A: A Tangible Educational Resource Editor in Inclusive Classes. In: IEEE 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2019., 2019. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2019. v.2161, p.303–307.

PREUSS, E. et al. Uso de Mesa Tangível na Educação Inclusiva. In: XXXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2020. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2020. p.742–751.

RAFFAELE, C. D.; SMITH, S.; GEMIKONAKLI, O. An active tangible user interface framework for teaching and learning artificial intelligence. **23rd International Conference 2018**, [S.l.], 2018.

RAFFLE, H. S.; PARKES, A. J.; ISHII, H. Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2004. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2004. p.647–654.

REMY, C.; WEISS, M.; ZIEFLE, M.; BORCHERS, J. A pattern language for interactive tabletops in collaborative workspaces. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PATTERN LANGUAGES OF PROGRAMS, 15., 2010. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2010. p.1–48.

RIEMANN, J.; MÜLLER, F.; GÜNTHER, S.; MÜHLHÄUSER, M. An evaluation of hybrid stacking on interactive tabletops. **SmartObject 2017 - Proceedings of the 2017 ACM Workshop on Interacting with Smart Objects, co-located with IUI 2017**, [S.l.], p.13–20, 2017.

ROCHA, H. V. d.; BARANAUSKAS, M. C. C. Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador, 2003. **Núcleo de Informática Aplicada à Educação**, [S.l.], 2003.

RODIĆ, L. D.; GRANIĆ, A. Tangible interfaces in early years' education: a systematic review. **Personal and Ubiquitous Computing**, [S.l.], v.26, n.1, p.39–77, 2022.

SAFFER, D. **Designing for interaction: creating innovative applications and devices.** [S.l.]: New Riders, 2010.

SAURO, J.; LEWIS, J. R. **Quantifying the user experience: Practical statistics for user research.** [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2016.

SCOTT, S. D.; GRANT, K. D.; MANDRYK, R. L. System guidelines for co-located, collaborative work on a tabletop display. In: ECSCW 2003, 2003. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2003. p.159–178.

SHAER, O.; HORNECKER, E. **Tangible user interfaces**: past, present, and future directions. [S.l.]: Now Publishers Inc, 2010.

SHAER, O.; LELAND, N.; CALVILLO-GAMEZ, E. H.; JACOB, R. J. The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. **Personal and Ubiquitous Computing**, [S.l.], v.8, n.5, p.359–369, 2004.

SHNEIDERMAN, B. **Designing the user interface**: strategies for effective human-computer interaction. [S.l.]: Pearson Education India, 2010.

SHNEIDERMAN, B. et al. **Designing the user interface**: strategies for effective human-computer interaction. [S.l.]: Pearson, 2016.

TANAKA, E. H. **Método baseado em heurísticas para avaliação de acessibilidade em sistemas de informação**. 2009. Tese de Doutorado — Instituto de Computação/Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP.

TANG, A. et al. Collaborative coupling over tabletop displays. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2006. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2006. p.1181–1190.

TIDWELL, J.; BREWER, C.; VALENC, A. **Designing Interfaces, for Effective Interaction Design. 3rd**. [S.l.]: O'Reilly Media, 2020.

TOBIAS, E.; MAQUIL, V.; LATOUR, T. TULIP: a widget-based software framework for tangible tabletop interfaces. In: OF THE 7TH ACM SIGCHI SYMPOSIUM ON ENGINEERING INTERACTIVE COMPUTING SYSTEMS, 2015. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p.216–221.

ULLMER, B.; ISHII, H. Emerging frameworks for tangible user interfaces. **IBM systems journal**, [S.l.], v.39, n.3.4, p.915–931, 2000.

VEIT, M.; CAPOBIANCO, A.; BECHMANN, D. Influence of degrees of freedom's manipulation on performances during orientation tasks in virtual reality environments. In: ACM SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY SOFTWARE AND TECHNOLOGY, 16., 2009. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009. p.51–58.

VELDHUIS, A.; LIANG, R. H.; BEKKER, T. CoDa: Collaborative data interpretation through an interactive tangible scatterplot. **TEI 2020 - Proceedings of the 14th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction**, [S.l.], n.February, p.323–336, 2020.

VIEIRA, H.; BARANAUSKAS, M. C. C. Design e avaliação de interfaces humano-computador. **Campinas: Unicamp**, [S.l.], 2003.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review**, [S.l.], v.3, n.3, p.3–11, 1999.

WELLNER, P.; MACKAY, W.; GOLD, R. Back to the real world. **Communications of the ACM**, [S.l.], v.36, n.7, p.24–26, 1993.

WINOGRAD, T. **Bringing design to software**. [S.l.]: ACM, 1996.

YAMAGAMI, M. et al. Two-In-One: A Design Space for Mapping Unimanual Input into Bimanual Interactions in VR for Users with Limited Movement. **ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)**, [S.l.], v.15, n.3, p.1–25, 2022.

ZIDIANAKIS, E. et al. The Farm Game: A Game Designed to Follow Children's Playing Maturity. In: **Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation**. [S.l.]: Springer, 2016. p.20–28.

ZIMMERMAN, J.; FORLIZZI, J.; EVENSON, S. Research through design as a method for interaction design research in HCI. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2007. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007. p.493–502.

**APÊNDICE A PROTOCOLO DE RSL SOBRE O PROJETO,
IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE INTERFACES TANGÍ-
VEIS EM MESAS**

Vinicius Kruger da Costa

**Revisão Sistemática de Literatura sobre o projeto, implementação e avaliação
de interfaces tangíveis em mesas**

Pelotas, 2022

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	3
2.1	Objetivo	3
2.2	Questões de pesquisa	3
2.3	<i>String</i> de busca	4
2.4	Mecanismos de Busca Acadêmica	4
2.5	Critérios de Seleção e Exclusão de Artigos	5
2.6	Etapa Seleção de Artigos - Primeiro filtro	5
2.7	Etapa Avaliação de Qualidade - Segundo filtro	6
2.8	Resultados	6
3	LIÇÕES APRENDIDAS	23
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Utilizou-se o método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) (PETERSEN et al., 2008) como base para a delimitação deste estudo do estado da arte sobre mesa tangíveis.

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: (a) Definição de questões de pesquisa; (b) Elaboração da string de busca; (c) Pesquisa por artigos relevantes; (d) Seleção de artigos; (e) Classificação e qualificação dos artigos e Extração e mapeamento de dados. Uma característica importante da RSL é que todos os procedimentos executados devem ser registrados num determinado fluxo de trabalho, 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) (MARQUES et al., 2015).

O capítulo 2 apresenta um detalhamento do protocolo que foi aplicado nessa RSL, a qual gerou os resultados discutidos no capítulo 3 desse documento.

2 PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Para melhor sistematização dessa RSL utilizou-se como ferramenta a plataforma Parsifal ¹ (KEELE et al., 2007), o qual permite a criação, execução, seleção, qualificação e extração de dados de modo organizado e processual, dentro de um software de gerenciamento de informação online que pode ser compartilhado num grupo de pesquisadores.

A seguir especifica-se cada um dos itens do protocolo dessa RSL aplicada entre os meses de **Março e Novembro de 2021**, por um **grupo de três pesquisadores, na Universidade Federal da Pelotas (UFPel)**.

2.1 Objetivo

Definir o estado da arte sobre o desenvolvimento de aplicações que utilizem interface tangível do usuário em dispositivos de mesa interativa.

2.2 Questões de pesquisa

Com base no objetivo geral traçado, especificou-se as questões de pesquisa abaixo. Estas perguntas nortearam a análise dos artigos resultantes da aplicação do protocolo:

- (a) **Como são essas aplicações na mesa tangível?** Protótipos ou versões disponíveis ao mercado? Qual seu objetivo final, área de aplicação como se dava a interação, perfil de usuário, contexto?
- (b) **Qual tipo de metodologia foi usada para o design de interação dessa aplicação na mesa tangível?** Existe algum relato ou metodologia projetual citada? Utilizou algum *framework*? Envolveu os usuários no processo? Existem *guidelines*, recomendações ou diretrizes para o design dessas aplicações com uso de interfaces tangíveis numa mesa?

¹Disponível em <https://parsif.al/>

(c) **Houve algum processo de avaliação dessas aplicações?** Como foi feita a avaliação, quais abordagens, instrumentos e condições desse processo? Foi avaliada a aplicação, o dispositivo, alguma comparação entre tipos de interface?

(d) **Como era essa mesa tangível?** Quais os modelos utilizados? Modelos comerciais ou protótipos? Quais os tipos de tecnologias utilizadas para construção das mesas tangíveis com essas aplicações?

2.3 String de busca

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 aos MBA, e, dessa forma, recuperar uma série de artigos relacionados ao objetivo da pesquisa e que possam responder as questões elaboradas anteriormente. Abaixo a *string* de busca gerada com base em um conjunto de palavras-chave escolhidas:

((("HCI"OR "human computer interaction") AND ("TUI"OR "tangible interaction"OR "tangible"OR "tangible user interaction") AND ("tabletop"OR "tabletop interface"OR "interactive surface"))))

De uma maneira geral essa *string* de busca estrutura-se com **[grande área de atuação de pesquisa]+[tipo de interface e interação]+[dispositivo]**, possibilitando com que o leque de aplicações relacionados inicialmente fosse o mais amplo possível.

Cabe também ressaltar que cada MBA apresenta uma sintaxe particular na sua estrutura de *string* de busca, sendo necessária adaptações a cada um desses.

2.4 Mecanismos de Busca Acadêmica

Esta *string* de busca foi aplicada sobre indexadores científicos que retornaram a coleta inicial dos artigos. Nesta RSL, especificamente, foram adotados os seguintes engenhos de busca científicos:

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

²<http://dl.acm.org>

³<http://ieeexplore.ieee.org>

⁴<http://www.sciencedirect.com>

⁵<http://link.springer.com/>

Além dos artigos retornados de forma automática pela *string* nos MBA, optou-se por considerar também a inclusão manual de todos os artigos de dois eventos relevantes na área específica de interações tangíveis (*ACM TEI - Tangible and Embedded Interaction*⁶; *IHC: Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*⁷) e de trabalhos do Catálogo de Teses Dissertações da CAPES que tenham relação com a pesquisa.

Estes MBA e eventos foram selecionados por agregarem uma quantidade considerável de trabalhos dentro da área de pesquisa considerada (relevância) e terem acesso dentro das Instituições nas quais se desenvolveu a RSL (disponibilidade).

2.5 Critérios de Seleção e Exclusão de Artigos

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

Critérios de inclusão de artigos:

- Artigos completos;
- Foco na apresentação de uma aplicação em mesa tangível;
- Prioritariamente na língua inglesa;

Critérios de exclusão de artigos:

- Livro completo, resumo, pôster ou artigo curto;
- Publicado anteriormente 2016 (exceto se artigo relevante para inclusão manual);
- Artigo duplicado;
- Estudo secundário;

A inclusão manual para artigos com data de publicação anterior a 2016 é prevista nesse protocolo, desde que sejam relevantes para campo de investigação na área e com foco em desenvolvimento relacionados ao objeto da pesquisa (design de aplicações para interfaces tangíveis em mesas).

2.6 Etapa Seleção de Artigos - Primeiro filtro

A coleção bruta de artigos retornados, seja pelo retorno automático dos MBA, seja pela inclusão manual, foi submetida ao primeiro filtro previsto na RSL, no qual um grupo de três pesquisadores realizou uma triagem analisando: título, palavras-chave e resumo dos trabalhos. Para efetuar esta seleção, foram utilizados os critérios de exclusão e inclusão de artigos, estabelecidos na definição do protocolo RSL.

⁶<https://dl.acm.org/conference/tei>

⁷<https://dl.acm.org/conference/ihc>

2.7 Etapa Avaliação de Qualidade - Segundo filtro

A etapa de avaliação de qualidade tem por objetivo eliminar os artigos que porventura tenham sido aceitos no primeiro filtro, contudo não apresentam consistência para extração final de dados necessária ao cumprimento do objetivo da RSL.

A ferramenta Parsifal permite, através da criação de uma lista de perguntas, criar uma verificação de requisitos mínimos desejáveis para aceitação final do artigo. Nesse protocolo elencou-se uma lista de oito perguntas que devem ser respondidas com a leitura do artigo:

- Apresenta as tecnologias utilizadas de modo geral para uso na aplicação em mesas tangíveis?
- Apresenta desenvolvimento de uma aplicação para mesa tangível?
- Explicita alguma metodologia de desenvolvimento dessa aplicação para mesa tangível?
- Apresenta diretrizes ou sugestões para o design de interação desses aplicativos?
- Fez algum ciclo de avaliação com usuários finais nessa aplicação?
- Apresenta arquitetura de desenvolvimento dessa aplicação?
- Aplicação na mesa tangível foi finalizada (seja em protótipo)?
- Artigo foi citado mais de 5 vezes?

Todas as perguntas tinham três opções de resposta, com uma pontuação respectiva a cada resposta (Sim = 1 ponto, Parcialmente = 0,5 ponto e Não = 0 ponto). Para fins desse protocolo considera-se que 50% do score total possível (8 pontos) é o ponto de corte para definição do artigo como viável ou não a fase final de extração.

2.8 Resultados

Foi realizada a busca sobre os MBA e eventos selecionados, apresentando o resultado bruto de **1.256 referências bibliográficas**, as quais foram recuperadas e armazenadas na ferramenta Parsifal.

O conjunto desses artigos na fase inicial da busca em sua distribuição pela origem de publicação, e após a aplicação dos filtros propostos no protocolo, é apresentada na Tabela1.

Após o primeiro filtro de seleção inicial a quantidade de artigos era de **79 artigos**. Com o segundo ciclo de filtragem (etapa de avaliação de qualidade) foi possível identificar e caracterizar os trabalhos dentro do eixo principal previamente estabelecido,

Tabela 1 – Distribuição dos artigos encontrados em cada MBA

Engenho de Busca	resultado bruto	selecionados
ACM Digital Library	524	28
IEEE Xplore Digital	4	2
Science Direct	50	4
Springer	231	14
IHC	248	0
ACM TEI	199	5
Total	1256	53

eliminando artigos sem contribuições gerais, mas que tivessem sido aceitos durante o primeiro filtro individual de cada pesquisador. Desse modo o conjunto final elencado nessa RSL compreende o total de **53 artigos**.

Como a *string* de busca foi criada de modo a permitir uma ampla busca, ocorreu uma grande taxa de exclusão sobre os artigos coletados inicialmente. Em torno de 93% desses foram desconsiderados (1095 artigos) pois apresentavam algum tipo de teste ou validação de implementação de aplicativos que não estão relacionados as mesas tangíveis. Com o uso das palavras chaves *tabletop* e *interactive surface* vários artigos que exclusivamente trabalhavam com mesas *multitouch*, ou até dispositivos como *tablets* (sem uso algum de qualquer característica de interação tangível) surgiram no resultado inicial da busca.

Com relação aos artigos duplicados, resumos, artigos curtos (de até 5 páginas com referências), pôsters, representaram aproximadamente 3% do total (33 resultados) com nenhuma contribuição específica na RSL.

Já os estudos secundários representaram em torno de 4% dos artigos retornados (47 artigos). Nesse caso optou-se por não considerá-los na RSL para extração das respostas de pesquisa do protocolo, mas foram analisados quanto seus objetivos e pertinência ao tema dessa RSL.

Vários desses estudos secundários retornaram na pesquisa pois apresentam a TUI como algum tipo de aspecto ou característica de análise nos seus objetivos, mas não necessariamente relacionada ao gênero *tangible tabletop*. Como por exemplo *A Systematic Literature Review on User Centered Design (UCD) and Participatory Design with Older People* (DUQUE et al., 2019), o qual analisou 51 artigos de 2013 a 2018 com utilização da abordagem projetual *UCD* e apresentou em alguns desses o uso dessa metodologia na construção de aplicações tangíveis.

Em outra perspectiva, outros desses estudos secundários são importantes pois constroem um arcabouço teórico sobre TUI, auxiliando no entendimento do estado da arte e que são específicos sobre interfaces tangíveis em mesas. Podemos dividir esses estudos entre *surveys* (outras revisão sistemáticas de literatura) e criação de *frameworks*.

- *Analysis and Classification of Shape-Changing Interfaces for Design and Application-based Research* (STURDEE; ALEXANDER, 2018) apresenta uma longa e extensa pesquisa sobre interfaces que mudam de forma (superfícies infláveis, elásticas, líquidas, maleáveis, dobráveis, etc) e como designers de interação podem, com base nessa categorização, criar novas formas de interação com objetos táteis.
- *COPSE: Rapidly Instantiating Problem Solving Activities Based on Tangible Tabletop Interfaces* (MAQUIL et al., 2017) é um *framework* de implementação para produção de atividades simples de resolução de problemas colaborativos para *tangible tabletop interface*. Além dos cenários de uso desse *frameworks* (utilização por produtores de conteúdo como educadores e não exclusivamente por desenvolvedores, designer de interação), apresenta considerações sobre implementação e projeto dessas aplicações com foco em atividades de aprendizagem.
- *DCLM framework: understanding collaboration in open-ended tabletop learning environments* apresenta o *framework* (*Divergent Collaboration Mecanismos de aprendizagem - DCLM*) com o objetivo de reconhecer e codificar a colaboração e a divergência no uso de ambientes de aprendizagem colaborativos, tais como as *tangible tabletops*.
- *The TUIO 2.0 Protocol: An Abstraction Framework for Tangible Interactive Surfaces* (KALTENBRUNNER; ECHTLER, 2018) com a evolução de diversas tecnologias envolvidas na implementação de *tangible tabletops*, esse artigo evolui o TUIO 1.0 (KALTENBRUNNER et al., 2005) de 2005. TUIO é *framework* que define um protocolo comum e API para superfícies multitoque tangíveis.
- *Guidelines to design tangible tabletop activities for children with attention deficit hyperactivity disorder* (CEREZO et al., 2019) apresenta um conjunto de diretrizes gerais e aplicáveis ao design de qualquer aplicativo interativo voltado para crianças com TDAH. Elas também são apropriados para aplicações em outras crianças neurodiversas ou, na verdade, em qualquer criança de uma perspectiva mais inclusiva.

Sobre os artigos selecionados para fase final de extração de dados buscou-se desenvolver algumas análises gerais antes de especificamente responder as questões de pesquisa.

Houve um decréscimo na publicação de pesquisas relacionadas ao uso de *tangible tabletops* nos últimos anos, conforme apresentado na Figura 1. Mesmo com o protocolo não contemplado todo o ano de 2021, essa queda pode ter relação com as questões sanitárias envolvidas nos testes de avaliação e no próprio uso desse tipo de interface num contexto de pandemia de necessidade de distanciamento social.

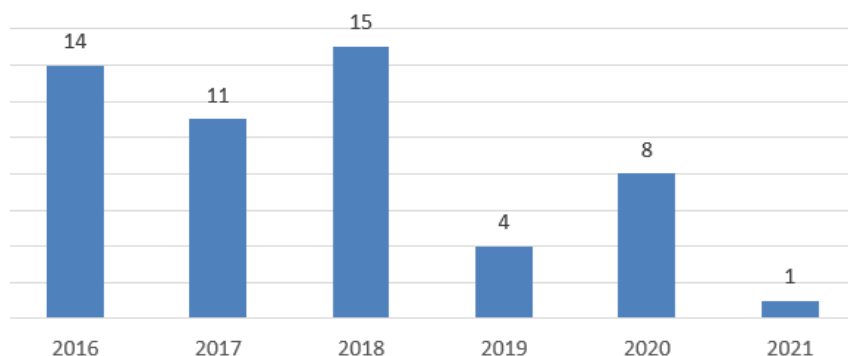


Figura 1 – Distribuição de artigos selecionados na RSL com relação aos anos de publicação Fonte: Autor (2021)

Com relação aos países de origem (Figura 2), dos primeiros autores dos artigos selecionados, encontram-se em maior quantidade a produção de artigos na França, Estados Unidos, Alemanha e Espanha.

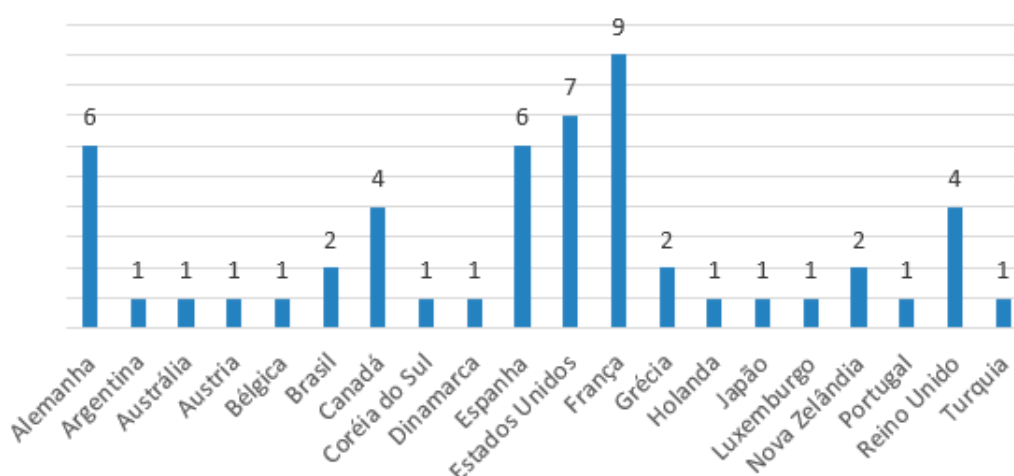


Figura 2 – Distribuição dos países de origem do primeiro autor em relação aos artigos selecionados na RSL. Fonte: Autor (2021)

Algumas considerações sobre a relação de produção nesses países com mais publicações no período 2016-21:

- **França** Cinco dos artigos publicados no período envolvem o trabalho do grupo de pesquisa do *Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines* na *Université Polytechnique Hauts-de-France*, com os autores Sophie Lepreux, Christophe Kolski e Amira Bouabid. O foco de pesquisas desse grupo tem sido o uso de interfaces tangíveis em mesas distribuídas

(BOUABID; LEPREUX; KOLSKI, 2017) e uso de objetos diversos utilizando RFID como *tokens* para uso nas *tabletops* (BOUABID; LEPREUX; KOLSKI, 2018).

- **Estados Unidos** Apesar de grande produção publicada nos últimos anos não existe nenhuma relação, a priori, entre os autores e as pesquisas, sendo que as mesmas não apresentaram continuidade nos desenvolvimentos;
- **Alemanha** Existe uma produção de artigos que envolvem o autor Max Mühlhäuser da *Technical University of Darmstadt* e seu laboratório com foco em interação corporal e tangível em pequena e grande escala (DÖWELING et al., 2016) (RIEMANN et al., 2017);
- **Espanha** Três artigos apresentam os autores Clara Bonillo, Sandra Baldassarri, Javier Marco e Eva Cerezo, os quais pertencem ao grupo de pesquisa do laboratório *GIGA Affective Lab* na *Universidad de Zaragoza*. A importância desse centro é nas pesquisas com foto em desenvolvimento de aplicações tangíveis na mesa para criança (BONILLO et al., 2016) (BONILLO et al., 2020).

Nenhum dos artigos finais selecionados para a RSL foi do grupo pioneiro de pesquisas em interações tangíveis, o *Tangible Media Group* do *Massachusetts Institute of Technology: MIT* dos Estados Unidos. Pesquisando manualmente pelas produções do grupo nos últimos anos, percebe-se que o foco de suas publicações tem sido mais em direção a busca por novas tecnologias de materiais para interação tangível, como por exemplo o artigo *WraPr: Spool-Based Fabrication for Object Creation and Modification* (LEONG et al., 2020) que apresenta um protótipo de impressão 3D para materiais que podem ter suas formas posteriormente modificadas (expandidas ou contraídas) pelos usuários com algum processo de interação tátil.

A distribuição das publicações dos artigos finais entre os periódicos e eventos (Tabela 2) foi diversa, com destaque para *Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI) e o específico em TUI *Proceedings of the International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* com 5 artigos cada. Vários artigos publicados em eventos relacionados a interfaces em superfícies e que englobam, dessa forma, as interações tangíveis em mesas, tais como *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces* e *Proceedings of the ACM International Symposium on Pervasive Displays*.

Com a leitura completa dos artigos finais selecionados, buscou-se de modo objetivo responder todas as perguntas de pesquisa elencadas anteriormente no protocolo, extraindo esses dados através da ferramenta Parsifal, demonstrando e discutindo os resultados a seguir.

(a) Como são essas aplicações na mesa tangível? Protótipos ou versões disponíveis ao mercado? Qual seu objetivo final, área de aplicação como se dava a interação,

Tabela 2 – Distribuição das publicações selecionadas na RSL entre periódicos e eventos

Periódico/Evento	Qtde artigos
ACM Transactions on Computer-Human Interaction	02
Collaboration Meets Interactive Spaces	03
Computers and Graphics	01
IFAC-PapersOnLine	01
Journal of Geographical Systems	01
Journal of Visual Language and Computing	01
Journal on Multimodal User Interfaces	01
Learning and Collaboration Technologies	01
Lecture Notes in Artificial Intelligence	01
Lecture Notes Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering	02
PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare	01
Proceedings ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces	03
Proceedings ACM International Symposium on Pervasive Displays	03
Proceedings ACM on Human-Computer Interaction	04
Proceedings ACM Workshop on Interacting with Smart Objects	01
Proceedings Africa and Middle East Conference on Software Engineering	01
Proceedings Australasian Computer Science Week Multiconference	01
Proceedings Conference on Human Factors in Computing Systems	06
Proceedings IEEE Conference on VR and 3D User Interfaces	01
Proceedings Interaction Design and Children Conference	01
Proceedings International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies	01
Proceedings International Conference on Collaboration Technologies and Systems	01
Proceedings International Conference on Digital Tools	01
Proceedings International Conference on HCI	01
Proceedings International Conference on Intelligent User Interfaces	02
Proceedings International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction	05
Proceedings Koli Calling International Conference on Computing Education Research	01
Proceedings Workshop on Advanced Visual Interfaces	01
Proceedings Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future	01
Universal Access in HCI	01
Universal Access in the Information Society	02

perfil de usuário, contexto?

Do total de *53 artigos finais* selecionados para fase de extração dessa RSL, **50** são **protótipos**, ou seja, são apenas aplicações que estão num contexto específico do experimento e não foram replicadas em outros locais ou cenários.

Dois artigos geram soluções que podem ser replicadas a diversas aplicações de algum modo, contudo não são aplicações: *KitVision toolkit: supporting the creation of cognitive activities for tangible tabletop devices* (BONILLO et al., 2020) que é um *software toolkit* para usuários finais criarem atividades para crianças com problemas de cognição; e *Custom-Made Tangible Interfaces with Touchtokens* (APPERT et al., 2018) que apresenta a possibilidade de customização de *tokens* para reconhecimento em dispositivos *touch* (como *smartphones*, *smartwatches*) em formas geométricas diversas. Apenas um artigo relatou que sua aplicação (*The Farm Game*) (ZIDIANAKIS et al., 2016) está disponível em uma sala de jogos infantil, dentro de um espaço do laboratório de pesquisa.

Isso foi outro aspecto relevante nos resultados encontrados, a totalidade dos artigos desenvolveu sua aplicação para uso dentro de ambientes fechados (laboratórios, museus, salas de aula) com controle dos fatores de circulação e exposição das pessoas as *tangible tabletops* (iluminação e temperatura, por exemplo). Nenhum dos experimentos e avaliações ocorreu em ambiente aberto, provavelmente por considerar o equipamento envolvido sensível, não portátil e também ter um contexto de uso específico.

Os contextos de uso (áreas das aplicações desenvolvidas) desses artigos se encontra na Figura 4, na qual pode-se perceber que grande esforço das pesquisas estão direcionados a área da educação e visualização e manipulação de mapas.

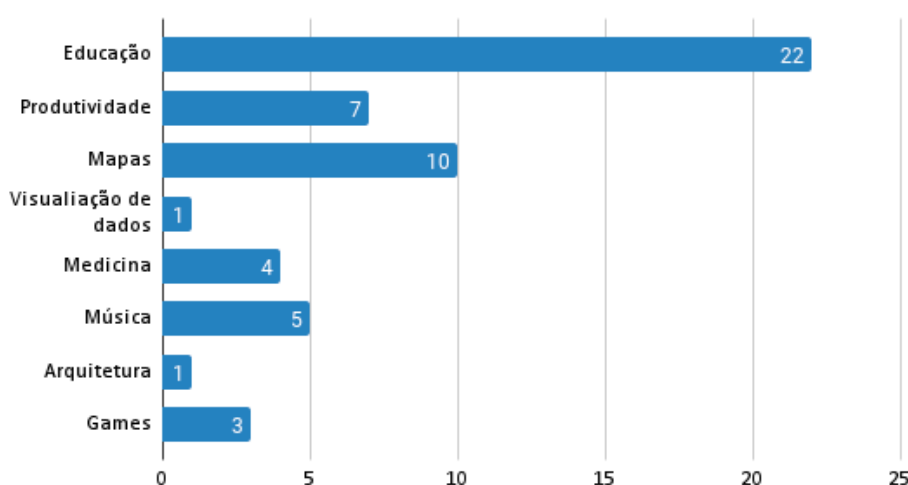


Figura 3 – Distribuição das áreas das aplicações desenvolvidas na RSL. Fonte: Autor (2021)

Dentro desses **22 artigos** que focam na **área de educação**, pode-se listar diversos

contextos de ensino em campos do conhecimento como: biologia (MANSHAEI et al., 2019), matemática (VELDHUIS; LIANG; BEKKER, 2020), lógica/programação (RAFFAELE; SMITH; GEMIKONAKLI, 2018) e como recurso educativo terapêutico (PAPADAKI et al., 2018).

O artigo *Tangible Tens: Evaluating a Training of Basic Numerical Competencies with an Interactive Tabletop* (FALCÃO et al., 2018) utiliza a pesquisa em matemática manipulativa e interface tangíveis para desenvolver um treinamento de competências numéricas básicas usando uma mesa interativa em combinação com blocos físicos semelhantes a um brinquedo LEGO (*tokens*).

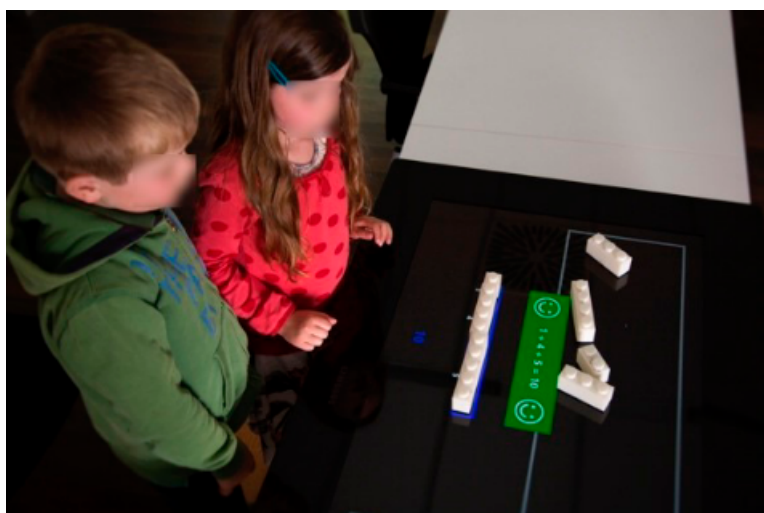


Figura 4 – Crianças interagindo com a aplicação no *tangible tabletop*. Fonte: (FALCÃO et al., 2018)

Vários são os benefícios listados por todos esses artigos com relação ao uso de interfaces tangíveis (utilização da consciência espacial e corporal, aspectos lúdicos, estímulo a colaboração, entre outros) no desenvolvimento de atividades educacionais, sendo que a maioria dessas aplicações é destinada a crianças até 13 anos de idade.

No contexto de **visualização e manipulação de mapas** são **10 artigos** relacionados e um direcionamento de pesquisas que apontam o uso da interação tangível num espaço de uma mesa como possibilidade de inclusão a pessoas com deficiência visual. No artigo *Tangible Reels : Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users* (DU; RIT, 2016) é apresentada uma proposta de representação tangível para criação e interpretação de mapas por pessoas cegas por conta própria através de um *token* que gera instruções de áudio durante o processo de interação (Figura 5).

O próprio DU; RIT (2016) argumenta que interpretar e utilizar mapas são parte do cotidiano de usuários videntes e que utilizar as características da TUI e do espaço físico, disponibilizado numa mesa, parece ser uma alternativa a inclusão de pessoas com deficiência visual, o que também é reafirmado em MENDES et al. (2020).

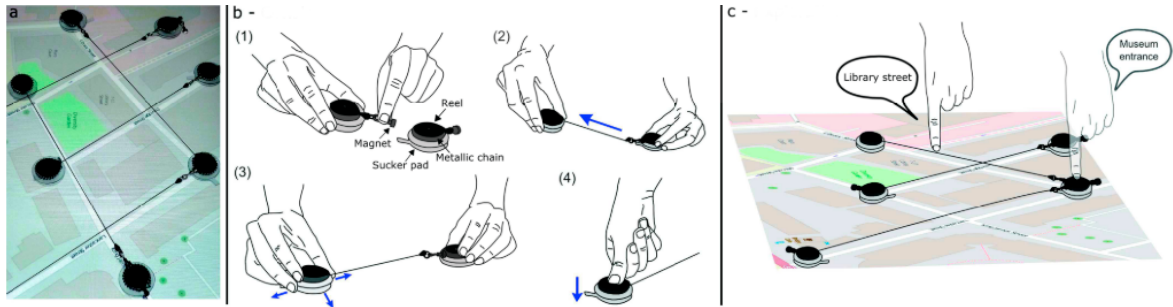


Figura 5 – *Storyboard* com processo de interação de pessoas com deficiência visual no uso do Tangible Reel na mesa tangível com um mapa que gera *feedback* sonoro. Fonte:(DU; RIT, 2016)

O processo de interação dos usuários com os dispositivos envolvidos na TUI em uma mesa interativa ocorreram através do uso de *input* com uso e manipulação de *tokens* passivos e ativos e *feedbacks* gráfico/sonoro, em sua maioria. O uso de manipulação de *tokens* e de *multitouch* com o tampo da mesa também é observado em artigos como *The Lone Wolf Dies, the Pack Survives? Analyzing a Computer Science Learning Application on a Multitouch-Tabletop* (EHLENZ et al., 2018) que possibilita níveis de interação diversos em cada *input* dado usuário.

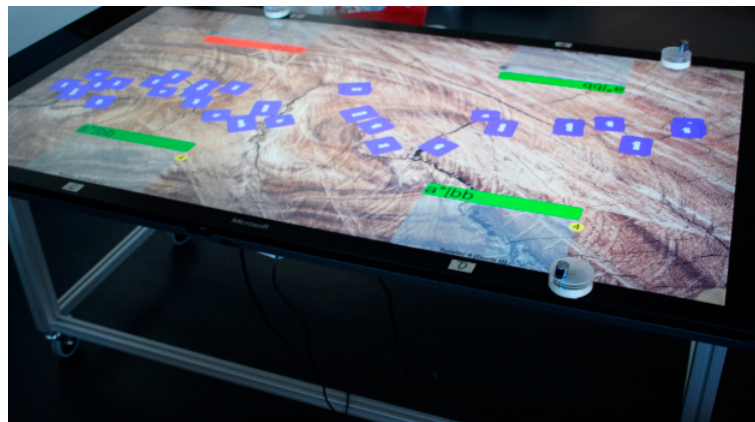


Figura 6 – Mesa Microsoft Surface Hub permite tanto interação *multitouch* como reconhecimento de *tokens*. Fonte:(EHLENZ et al., 2018)

Alguns artigos apresentam outros tipos de *outputs* além do visual, como o já citado (DU; RIT, 2016) que apresenta retorno sonoro com a leitura das informações da mesa; e a aplicação *Air Hockey* (ANDALAM et al., 2016) com *feedback* háptico.

(b) **Qual tipo de metodologia foi usada para o design de interação dessa aplicação na mesa tangível?** Existe algum relato ou metodologia projetual citada? Utilizou algum *framework*? Envolveu os usuários no processo? Existem *guidelines*, recomendações ou diretrizes para o design dessas aplicações com uso de interfaces tangíveis numa mesa?

A grande maioria das aplicações da RSL (43 artigos) **não apresentou uma metodologia projetual declarada** no corpo do texto. Basicamente o que observou-se foram etapas projetuais diferentes entre eles e que baseiam-se na Engenharia de Software, faltando clareza nas etapas cumpridas.

Alguns artigos apresentam um levantamento de requisitos mínimo com algum diagrama de arquitetura de implementação, porém a maioria desses parte do contexto de atuação da aplicação para a apresentação do mesmo sem detalhar todo o processo de design.

Dos que declararam a metodologia **5 artigos** utilizaram a abordagem de **Design Centrado no Usuário** (DCU); **3 artigos** apresentam o **Research Through Design** conjugado com **Codesign** e **1 artigo** apenas com **Codesign** e outro com **Design Thinking**.

No artigo *MeViTa: Interactive visualizations to help older adults with their medication intake using a camera-projector system* (DE CROON et al., 2017) foi desenvolvido um protótipo (Figura 7) que aumenta as capacidades dos idosos compreenderem sozinhos como administrar suas medicações de uso diário. Com uso de DCU o projeto envolveu profissionais da área médica, farmacêutica e pessoas idosas (22 usuários no teste) que avaliaram a aplicação seguindo algumas tarefas pré-determinadas, e que os forçava a executar determinadas funções anteriormente explicadas. Contudo, apesar de utilizar uma abordagem ativa para construção da aplicação, o artigo não gerou nenhuma diretriz projetual geral que pudesse ser replicada em contexto similares para outros desenvolvimentos.

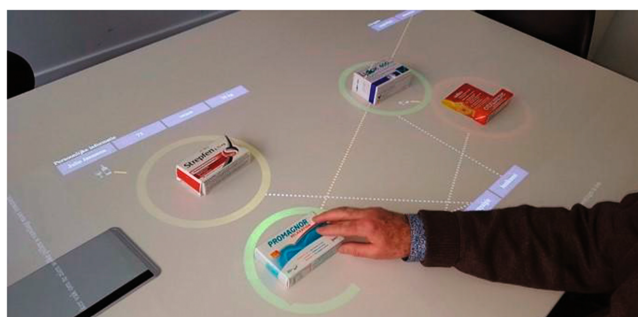


Figura 7 – Visão de interação do design final com as caixas de medicamentos em cima da mesa, as quais são reconhecidas e disponibilizam as informações projetando-as em torno das caixas. Fonte: DE CROON et al. (2017)

Já em (MANSHAEI et al., 2019) o uso de codesign aliado a abordagem *Research Through Design* possibilitou o desenvolvimento da aplicação de modo iterativo. O *Tangible BioNets* é um sistema de interação tangível para apoiar usuários especialistas (por exemplo, engenheiros, biólogos) na análise de redes biológicas e suas estruturas (Figura 8).

A partir de uma lista geral de requisitos estabelecida inicialmente (como por exem-

plo, fornecer vários pontos de entrada para pesquisa, comparação e filtragem dos dados) pelos usuários especialistas, os designers de interação puderam criar ciclos de projeto e validação, evoluindo a aplicação na medida em que a desenvolviam.

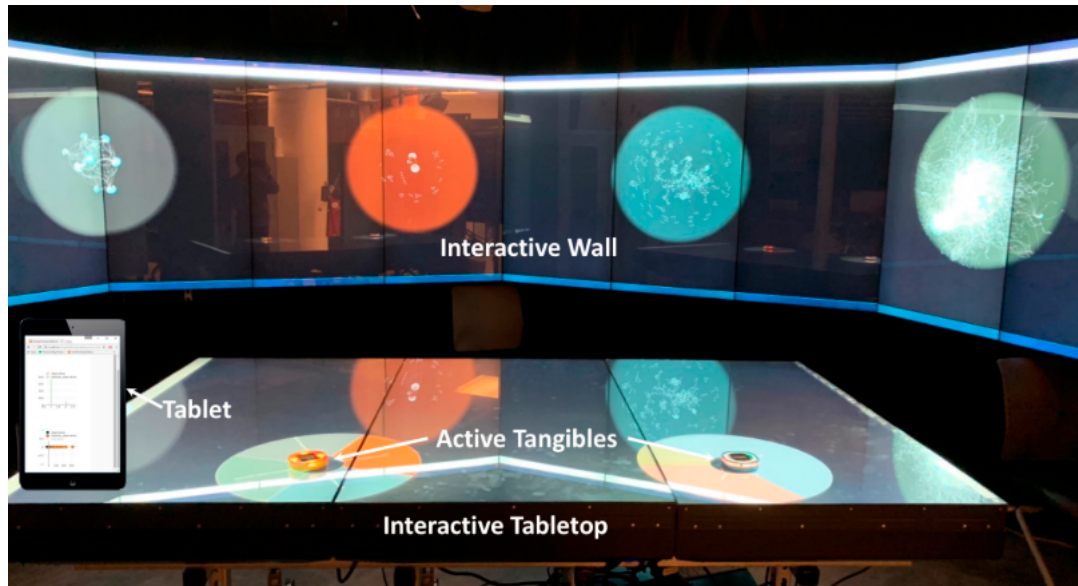


Figura 8 – Visão geral da aplicação Bionets com interação tangível por *tokens* ativos e visualização de camadas de informação em múltiplos dispositivos. Fonte: MANSHAEL et al. (2019)

Apenas **12 artigos** apresentam **algum tipo de sugestão ou diretriz projetual** que possa ser considerada por outros designers de interação no processo de desenvolvimento de aplicações para *tangible tabletops*.

No artigo *CoDa: Collaborative data interpretation through an interactive tangible scatterplot* explora-se como os alunos raciocinam com um gráfico de dispersão tangível interativo por meio de uma ferramenta colaborativa de interpretação de dados. Através de um processo de avaliação Os resultados qualitativos mostraram percepções no processo de interpretação dos dados, como a interação com os tangíveis influenciou essas interpretações dos dados, como o sistema auxiliou na colaboração e, em geral, a experiência do usuário.

Com base nessas percepções qualitativas de todo o processo, os autores elencaram algumas sugestões para designers de interação na criação de aplicações dentro do mesmo contexto educacional para visualização e interpretação de dados:

- Concentre-se na sensibilidade à informação.
- Reduza o conteúdo na tela.
- Considere a interação na mesa e acima dela.
- Fornece conhecimento sobre o outro usuário.
- Faça expressões dêiticas significativas.

- Use vários toques com sabedoria.

Já em APPERT et al. (2018) as diretrizes são mais relacionadas a criação de desenhos de *tokens*, sem nenhuma relação com a aplicação em si na mesa interativa e tão pouco para a relação entre o *tabletop* e o *input*.

Os artigos que mais tiveram uma preocupação em demonstrar seu processo de design como um todo, geralmente são os que apresentam sugestões de forma mais clara, como resultado do processo e como um guia para outros designers de interação. Como por exemplo o já citado MANSHAEI et al. (2019) que elenca uma série de considerações a serem feitas no desenvolvimento de aplicações para mesas tangíveis com grande quantidade de informações. Conforme sua avaliações os autores consideram que as opções de design importantes incluem: quando usar tangíveis e como atribuí-los a interações específicas ou partes dos dados; como usar de forma mais eficaz o estado real da tela em vários monitores; e como melhor oferecer suporte a vários usuários trabalhando juntos em torno dos dados.

Pode-se afirmar que todos os artigos que apresentam sugestões ou diretrizes projetuais tiveram processos de avaliações detalhados e envolveram usuários finais em alguma etapa do processo.

(c) **Houve algum processo de avaliação dessas aplicações?** Como foi feita a avaliação, quais abordagens, instrumentos e condições desse processo? Foi avaliada a aplicação, o dispositivo, alguma comparação entre tipos de interface?

De modo geral a grande maioria das aplicações sofreu algum processo avaliativo envolvendo usuários. Mais de 94% dos artigos (**50 artigos**) apresentou e detalhou essa etapa.

Com relação aos usuários envolvidos, abordagens e instrumentos utilizados nas avaliações pode-se ter a seguinte análise:

- **Faixa etária:** Em torno de 21,6% das aplicações envolveu usuário de 25 a 39 anos; 19,6% de 14 a 24 anos e 15,7% com crianças com idade de 0 a 13 anos. Apenas 2% apresentaram aplicações (1 artigo) e testes com idosos (60 anos ou mais) e em torno de 40% não especificaram faixa etária envolvida nas avaliações.
- **Quantidade de usuários envolvida:** 34 artigos (64,2%) tiveram processos de avaliação com mais de 10 usuários envolvidos; 7 aplicações foram avaliadas entre 5 a 10 usuários; 6 artigos com até 5 usuários envolvidos e 3 não especificaram quantidade de pessoas envolvidas. Com maiores números de usuários envolvidos a consistência dos resultados ganha relevância
- **Abordagem de avaliação:** Com relação as abordagens de avaliação 26,5% dos trabalhos apresentaram avaliações focadas na usabilidade (realização de tarefas

e funcionalidades), enquanto 18,4% avaliaram a UX. A conjugação dessas duas abordagens (usabilidade e UX) é aplicada em 14,3% como no artigo (MEHTA et al., 2016) que aplicou questionários de escala de usabilidade aliados a de satisfação e experiência de uso.

- **Instrumentos de avaliação:** Os principais instrumentos de avaliação envolvidos são o uso de questionários (38,6%), observação por especialistas (30%) e entrevistas (25,7%). Os tipos de questionário utilizados mensuram tanto aspectos de usabilidade, como por exemplo o Sistema de Escala de Usabilidade (*System Usability Scale - SUS*) criado por BROOKE et al. (1996) e utilizado por MAQUIL et al. (2018), como também privilegiar o entendimento de UX como o questionário *AttrakDif*⁸ (HASSENZAHN; BURMESTER; KOLLER, 2003) utilizado em RIEMANN et al. (2017), o qual consiste em uma escala que utiliza 28 pares de adjetivos opostos (diferenciais semânticos);

O que se observa, de modo geral, é que os objetivos dos processos de avaliação são principalmente para verificação das funcionalidades conforme a previsão feita na etapa de projeto. Alguns artigos comparam tipos de interfaces diversas para avaliar qual dessas tem melhor resultados, em termos de usabilidade e ou UX. Em ALMEGREN; RUDDLE (2016) é feita uma comparação entre o desempenho da TUI de mesa e que combina objetos tangíveis com a interação multitoque para manipulação e visualização de dados.

Já em DELLANA et al. (2020) a comparação é dada por interação com controles tangíveis que mudam de forma e o ou *input* por voz para controle de carros autônomos. Mesmo sendo um trabalho ainda em fase conceitual (ainda não existem carros autônomos comercializáveis), foram gerados protótipos (Figura 9) que simulam o contexto de uso da aplicação para avaliação mais fiel possível.

Mesmo as TUI não sendo mais um tipo de interface recente, ainda existem muitos estudos que buscam estabelecer essas comparações dos tipos de interação e efetividade comparando-a com outros tipos de UI. Como já descrito em COSTA et al. (2018) os conceitos de Interação Baseada na Realidade (física intuitiva, consciência corporal, consciência ambiental e compreensão social) que caracterizam o uso da TUI são pouco ou quase não explorados nos processos avaliativos, o que cria um *gap* de pesquisas na consolidação e até no desenvolvimentos de novas aplicações que usem esse tipo de UI.

(d) **Como era essa mesa tangível?** Quais os modelos utilizados? Modelos comerciais ou protótipos? Quais os tipos de tecnologias utilizadas para construção das mesas tangíveis com essas aplicações?

⁸www.attrakdiff.de

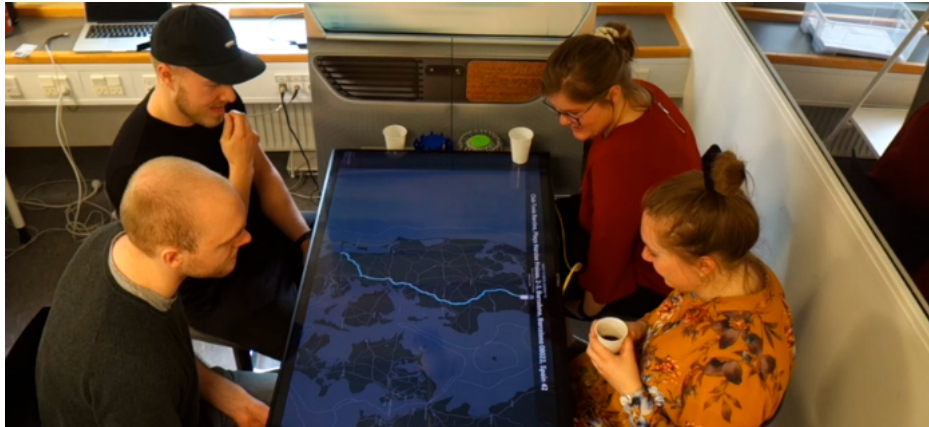


Figura 9 – Usuários interagindo com manipuladores tangíveis e *input* por voz numa mesa interativa, simulando interior de um carro autômato. Fonte:(DELLANA et al., 2020)

Conforme apresentado na Figura 10 observa-se um uso considerável de mesas interativas tangíveis com soluções de mercado como: Microsoft Surface, PixelSense e Samsung SUR40 e MultiTaction. A utilização desses dispositivos (produtos de prateleira) é ampla na medida que propiciam condições de maior produtividade aos desenvolvedores, com fornecimento de SDKs, por exemplo.

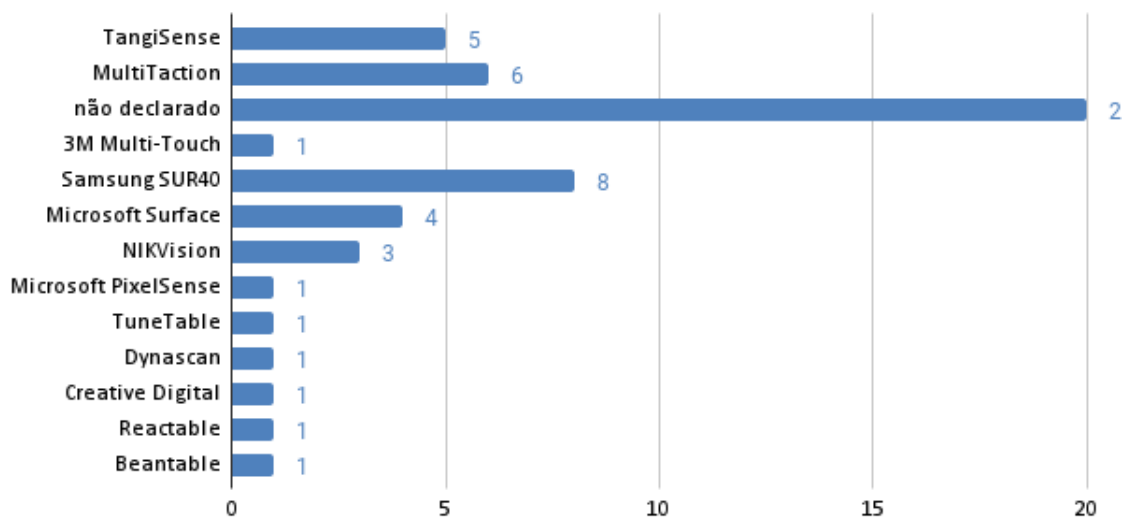


Figura 10 – Distribuição de modelos de mesas interativas tangíveis no desenvolvimento das aplicações listadas na RSL. Fonte:Autor(2021)

Outra característica nesses produtos é sua capacidade para reconhecimento de objetos soltos sobre sua superfície, seja por sensoreamento em *tokens* ativos (RFID, por exemplo) até de manipuladores tangíveis passivos (reconhecimento de uma ima-

gem por infra-vermelho, por exemplo).

O artigo *BacPack for New Frontiers: A Tangible Tabletop Museum Exhibit Exploring Synthetic Biology* (LOPAREV et al., 2016) é um exemplo de aplicação desenvolvida para uma dessas soluções comerciais (MultiTaction) usando a *MultiTouch Cornerstone 2 Software Development Kit* juntamente com o *MultiTaction Fiducial Markers Library* fornecidas pelo fabricante (Figura 11).



Figura 11 – Aplicação *BacPack for New Frontiers* na mesa interativa MultiTaction de 55 polegadas, desenvolvida com SDK do fabricante. Fonte:(LOPAREV et al., 2016)

Contudo, mesmo com fornecimento de SDKs e APIs de desenvolvimento não houve uma consolidação maior de aplicações que utilizam esses dispositivos como plataformas para TUI.

Outros modelos de *tangible tabletops* não são comercializáveis, contudo pode-se dizer que são de um determinado modelo, pois partem de um padrão específico de equipamentos e configurações.

O modelo TangiSense é um exemplo disso, foi apresentado no artigo de KUBICKI et al. (2009), desenvolvido pelo grupo de pesquisa francês do *Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines* e é utilizado em BOUABID; LEPREUX; KOLSKI (2016) (*Distributed tabletops: Study involving two RFID tabletops with generic tangible objects*) e em outros 4 artigos.

Conforme pode-se ver no Gráfico 10 a maioria das aplicações não declara de forma textual o modelo ou tipo de *tangible tabletop* que utilizam com suas aplicações Muitos desses artigos apresentam soluções customizadas de "baixo custo", como por exemplo a mesa interativa utilizada no artigo *Enabling the effective teaching and learning of advanced robotics in higher education using an active TUI framework* (RAFFAELE; SMITH; GEMIKONAKLI, 2017).

Essas mesas customizadas são criadas em diversas condições e necessidades. Os produtos disponíveis no mercado são dispendiosos e nem sempre cumprem as necessidades específicas para uma determinada aplicação. Um exemplo dessa aspecto é o trabalho de ZIDIANAKIS et al. (2016) no qual a mesa é pensada no perfil de usuário (crianças até 8 anos), considerando sua altura, posição de uso, como pode-

mos ver na Figura 12



Figura 12 – Crianças jogando *The Farm Game* numa mesa tangível interativa customizada. Fonte:(ZIDIANAKIS et al., 2016)

Essas soluções customizadas trabalham com plataformas abertas de construção utilizando o rastreamento de objetos em conjunto com o *framework* de implementação TUIO (KALTENBRUNNER et al., 2005). Aproximadamente 63% (32 artigos) das aplicações da RSL utilizam a visão computacional como abordagem de reconhecimento dos *tokens* para interação, sendo a plataforma Reactivision (KALTENBRUNNER, 2009) a de maior relevância.

Outros 10 artigos utilizam diversos outros tipos de sensores (até como o uso de smartwatch como na figura 13) e 5 aplicações utilizam RFID (utilizada com tecnologia de rastreamento da mesa TangiSense).



Figura 13 – Token que conjuga sensores embarcados no *smartwatch* com o reconhecimento por visão computacional e sensores para *feedback* em leds. Fonte:(ARIF et al., 2016)

Outro aspecto relevante dessa RSL para esse tipo de gênero TUI, para além das mesas interativas, é o uso do manipuladores tangíveis - *tokens*. Grande maioria das aplicações (36 artigos) utilizam tecnologias de visão computacional como o Reactivision para uso de *tokens* passivos. Um numero menor de aplicações utiliza *tokens*

ativos (11 artigos) e ou conjugados com uso de *tokens* passivos, ativos e multitouch (9 artigos).

Alguns dos artigos apresentam em detalhes a construção desse manipulador tangível como por exemplo em ARIF et al. (2016) no artigo *Sparse Tangibles: Collaborative Exploration of Gene Networks Using Active Tangibles and Interactive Tabletops*. Como mostrado na Figura 13, a construção de um manipulador ativo está diretamente relacionado ao projeto de design de interação pretendido.

Segundo os autores esse *token* suporta interações dentro e fora da mesa. As interações na mesa utilizam multitoque e a posição desses tangíveis ativos no tampo da mesa (Figura 14). As interações fora da mesa utilizam *multitouch* na tela do manipulador e também ações como empilhar e sacudir, utilizando o sensor inercial do smartwatch.

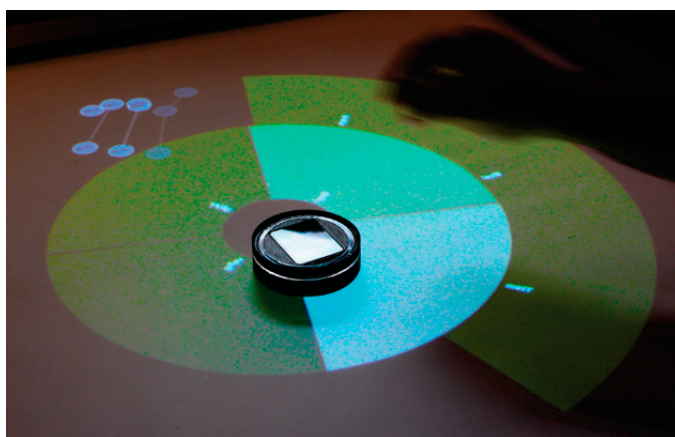


Figura 14 – Visualização da rede de genes em gráficos manipulador pelos token.
Fonte:(ARIF et al., 2016)

3 LIÇÕES APRENDIDAS

O objetivo geral dessa RSL foi **definir o estado da arte sobre o desenvolvimento de aplicações que utilizem interface tangível do usuário em dispositivos de mesa interativa**. Nesse sentido cabe analisar todo a mesa tangível interativa e os seus elementos: mesa tangível e manipuláveis tangível; as aplicações desenvolvidas para esses dispositivos e seus contextos de uso.

Com a leitura completa dos **53 artigos finais** do processo de extração de dados do protocolo dessa RSL, algumas observações devem ser consideradas nos próximos passos de desenvolvimento da tese:

- Existe uma gama diversa de áreas de uso das aplicações nas mesas tangíveis (educação, visualização de dados, medicina, etc), faixas etárias que foram consideradas no perfil de usuário, porém a totalidade dos artigos tem soluções criadas para contextos específicos, com fatores controlados em laboratórios ou espaços fechados (como museus).
- Diferentemente da GUI que é uma interface adaptável a diversos contextos, pois aceita diversos tipos de dados, as mesas tangíveis que utilizam TUI ainda estão muito ligadas a contextos mais específicos. Observa-se que cada aplicação é muito relacionada aquela mesa e aos tokens que são os disponíveis para uso.
- Embora as tecnologias estejam evoluindo para melhor disponibilidade dessas superfícies tangíveis em vários contextos, as soluções que ainda em grande parte dependem da visão computacional para o reconhecimento de objetos, condicionam um controle maior dos fatores externos, como iluminação por exemplo. Desse modo é possível considerar que os fatores ambientais tanto são definidos pelo contexto dos usuários ao redor da mesa, como pela tecnologia utilizada nas mesas tangíveis até o momento.
- Apesar de uma grande parte dos artigos utilizar mesas tangíveis comerciais, justificada pela facilidade de uso e reuso de SDKs proprietárias para implementação, nenhuma dessas fabricantes disponibiliza um repositório de aplicações

para outros usuários que por ventura tenham o queiram utilizá-las. Isso fica claro se considerarmos que quase totalidade das aplicações são protótipos únicos.

- Existe uma farta e detalhada documentação sobre cada um dos modelos comerciais e suas APIs, porém nenhuma delas disponibiliza qualquer padrão de design para desenvolvimento de aplicações. Nos artigos da RSL poucos são os artigos que fazem considerações sobre alguns aspectos tais como: altura dos elementos para alcance da mãos dos usuários, disposição e iluminação do ambiente, design dos *tokens* e uso de materiais mais adequados para esse ou aquela interação, etc.
- Nos artigos relacionados, diversos tipos de interação feitos com os *tokens*, que por vezes servem apenas como um apontador e outras como um dispositivo computacional que pode também gerar informação. Existe uma profusão de possíveis soluções para os manipuladores tangíveis, sendo eles definidas muito de acordo com as necessidades de camadas de interação com a mesa tangível. Justamente o surgimento de frameworks de implementação para *output* de dados na mesa/token como o TUIO (KALTENBRUNNER et al., 2005), e de reconhecimento de *tokens* como o ReactiVision (KALTENBRUNNER, 2009) abre a possibilidade de escala com diversas personalizações de tipos de *tangible tabletops* bem como de qualquer objeto físico ser um manipulável tangível.
- Com relação a interações multimodais, um pequeno número de artigos utiliza esse recurso de forma satisfatória. A maioria dos artigos trabalha basicamente com a entrada de dados através do token e da mesa com o output reduzido a representações visuais. Aproveita-se pouco os retornos hápticos e sonoros, em grande parte, pelo uso de manipuladores passivos.
- Percebe-se uma relação, já relatada pelos teóricos/pesquisadores da área de IHC (PREECE; ROGERS; SHARP, 2013), no uso de TUI como possível alternativa de acessibilidade para pessoas com deficiência visual. Alguns dos artigos de visualização de dados (matemáticos, estatísticos) e mapas potencializa o uso da manipulação de objetos tangíveis com as capacidades disponíveis por pessoas com esse contexto de uso. Contudo nenhum dos 53 artigos, nem mesmo esses orientados a deficiência visual, considera aspectos de acessibilidade a pessoas com deficiência motora (cadeirante), por exemplo. Se considerarmos que grande parte das aplicações são de cunho educacional e outras como fontes de imersão em museus, há necessidade de levar em conta acessibilidade.
- Apesar dos instrumentos de avaliação não terem uma adaptação orientada as características específicas das TUIs, os processos avaliativos foram aplicados

quase na totalidade das aplicações. O uso de questionários conjugado as observações dos especialistas valida os resultados na medida que, se os instrumentos não estão adaptados a essa UI, as observações qualificam o desenvolvimento dessas aplicações trazendo discussões acerca dos resultados obtidos.

- Os conceitos de Interação Baseada na Realidade (física intuitiva, consciência corporal, consciência ambiental e compreensão social) (JACOB et al., 2008) que caracterizam o uso da TUI são explorados nos projetos listados, mas não são categorizados como um processo estruturado no desenvolvimento e avaliação das aplicações em mesas tangíveis. Se por um lado um determinado artigo pensa em aspectos de colaboração e como sua aplicação pode estimular esse aspecto, esse mesmo não considera o entorno do espaço, tão pouco o movimento dos usuários no uso daquele espaço (KAYA et al., 2018), o que evidencia uma falta de clareza sobre qual melhor modo de projetar nessa UI.
- Apesar de alguns artigos listarem metodologias já consolidadas de design (como o UCD e o design thinking) não há um padrão projetual, tão pouco uma definição de uma lista mínima de requisitos que possa ser um ponto de partida para criação de uma aplicação em mesa tangível. Cada artigo apresenta o seu desenvolvimento e entre os artigos existem comportamentos bem díspares na atenção que é dada com a etapa de criação da aplicação.

Outro aspecto que não foi questionado nas perguntas de pesquisa dessa RSL, mas observado pelos pesquisadores envolvidos nos artigos selecionados, foi a não observação de nenhum critério sanitário no uso ou manipulação dos espaços e dos objetos na experiência de interação com as tangíveis tabletops.

Mesmo que o cenário atual de pandemia mundial tenha se configurado no ano de 2020 e o protocolo da RSL envolver um período mais extenso (2016 a 2021) as preocupações com higiene quando colocamos um usuário, ou um grupo de pessoas, para interagir com aplicações que envolvem o sentido do "tocar" em algo deveriam existir sempre.

É possível que, com base nos impactos sofridos pela COVID-19 e novos potenciais vírus, as preocupações sanitárias com o uso de interfaces compartilhadas por usuários diversos sofra reflexos. O novo cenário global apresenta o uso contínuo de determinados equipamentos (uso de máscaras, luvas, por ex.) e com isso surgirão novas demandas sanitárias e comportamentais que farão com que designers de interação expandam suas preocupações para além das habituais no projeto dessas UI.

REFERÊNCIAS

- AL-MEGREN, S.; RUDDLE, R. A. Comparing Tangible and Multi-Touch Interaction for Interactive Data Visualization Tasks. In: TEI '16: TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2016, New York, NY, USA. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2016. p.279–286. (TEI '16).
- ANDALAM, K. et al. Surface Air Hockey: A Step towards Smart Tangibles. In: AUSTRALASIAN COMPUTER SCIENCE WEEK MULTICONFERENCE, 2016, New York, NY, USA. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2016. (ACSW '16).
- APPERT, C.; PIETRIGA, E.; BARTENLIAN, E.; GONZÁLEZ, R. M. Custom-made tangible interfaces with touchtokens. In: OF THE 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED VISUAL INTERFACES, 2018. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2018. p.1–9.
- ARIF, A. S. et al. Sparse Tangibles: Collaborative Exploration of Gene Networks Using Active Tangibles and Interactive Tabletops. In: TEI '16: TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2016, New York, NY, USA. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2016. p.287–295. (TEI '16).
- 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.
- BONILLO, C.; MARCO, J.; BALDASSARRI, S.; CEREZO, E. KitVision toolkit: supporting the creation of cognitive activities for tangible tabletop devices., **Universal Access in the Information Society**, v.19, n.2, p.361–389, 2020.
- BOUABID, A.; LEPREUX, S.; KOLSKI, C. Distributed tabletops: Study involving two rfid tabletops with generic tangible objects. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEB ENGINEERING, 2016. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2016. p.167–173.

BOUABID, A.; LEPREUX, S.; KOLSKI, C. Design and evaluation of distributed user interfaces between tangible tabletops., **Universal Access in the Information Society**, dec 2017.

BOUABID, A.; LEPREUX, S.; KOLSKI, C. Study on generic tangible objects used to collaborate remotely on RFID tabletops., **Journal on Multimodal User Interfaces**, v.12, n.3, p.161–180, 2018.

BROOKE, J. et al. SUS-A quick and dirty usability scale., **Usability evaluation in industry**, v.189, n.194, p.4–7, 1996.

CEREZO, E. et al. Guidelines to design tangible tabletop activities for children with attention deficit hyperactivity disorder., **International Journal of Human-Computer Studies**, v.126, p.26–43, 2019.

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, 17., 2018. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2018. p.1–9.

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.

DELLANA, S. G. et al. Collaboration Around an Interactive Tabletop Map: Comparing Voice Interactions and a Tangible Shape-changing Controller. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE AND UBIQUITOUS MULTIMEDIA, 19., 2020. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2020. p.132–142.

DÖWELING, S.; TAHIRI, T.; RIEMANN, J.; MÜHLHÄUSER, M. Collaborative interaction with geospatial data—A comparison of paper maps, desktop GIS and interactive tabletops. In: **Collaboration Meets Interactive Spaces**. [S.l.]: Springer, 2016. p.319–348.

DU, J.; RIT, I. Tangible Reels : Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users., **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**, v.2016, n.May, 2016.

DUQUE, E. et al. A systematic literature review on user centered design and participatory design with older people. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 18., 2019. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2019. p.1–11.

EHLENZ, M. et al. The Lone Wolf Dies, the Pack Survives? Analyzing a Computer Science Learning Application on a Multitouch-Tabletop., **Proceedings of the 18th Koli Calling International Conference on Computing Education Research**, 2018.

FALCÃO, T. P. et al. Tangible tens: Evaluating a training of Basic numerical competencies with an interactive tabletop., **Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings**, v.2018-April, p.1–12, 2018.

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

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

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.

KALTENBRUNNER, M. reactIVision and TUIO: a tangible tabletop toolkit. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE TABLETOPS AND SURFACES, 2009. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009. p.9–16.

KALTENBRUNNER, M.; ECHTLER, F. The tuio 2.0 protocol: An abstraction framework for tangible interactive surfaces., **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, v.2, n.EICS, p.1–35, 2018.

KALTENBRUNNER, M. et al. TUIO: A protocol for table-top tangible user interfaces. In: THE 6TH INT'L WORKSHOP ON GESTURE IN HUMAN-COMPUTER INTERACTION AND SIMULATION, 2005. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2005. p.1–5.

KAYA, E.; ALACAM, S.; FINDIK, Y.; BALCISOY, S. Low-fidelity prototyping with simple collaborative tabletop computer-aided design systems., **Computers and Graphics (Pergamon)**, v.70, p.307–315, 2018.

KEELE, S. et al. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. [S.l.]: Technical report, ver. 2.3 ebse technical report. ebse, 2007.

KUBICKI, S. et al. TangiSense: présentation d'une table interactive avec technologie RFID permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASSOCIATION FRANCOPHONE D'INTERACTION HOMME-MACHINE, 21., 2009. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009. p.351–354.

LEONG, J. et al. WraPr: Spool-Based Fabrication for Object Creation and Modification. In: FOURTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2020. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2020. p.581–588.

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.

MANSHAEI, R. et al. Tangible BioNets: Multi-surface and tangible interactions for exploring structural features of biological networks., **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, v.3, n.EICS, 2019.

MAQUIL, V. et al. COPSE: Rapidly Instantiating Problem Solving Activities Based on Tangible Tabletop Interfaces. **Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.**, New York, NY, USA, v.1, n.EICS, 2017.

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

MARQUES, A.; LOPES, A.; ORAN, A.; CONTE, T. Modelagem de Interação e Navegação de Sistemas Interativos: Protocolo de um Mapeamento Sistemático da Literatura., **USES Technical Report Number RT-USES-2015-0001**, Jul 2015.

MEHTA, M. et al. Active pathways: Using active tangibles and interactive tabletops for collaborative modeling in systems biology. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE SURFACES AND SPACES, 2016., 2016. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p.129–138.

MENDES, D.; REIS, S.; GUERREIRO, J.; NICOLAU, H. Collaborative Tabletops for Blind People: The Effect of Auditory Design on Workspace Awareness., **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, v.4, n.ISS, p.1–19, 2020.

PAPADAKI, E.; NTOA, S.; ADAMI, I.; STEPHANIDIS, C. Let's Cook: An Augmented Reality System Towards Developing Cooking Skills for Children with Cognitive Impairments. In: LECTURE NOTES OF THE INSTITUTE FOR COMPUTER SCIENCES, SOCIAL-INFORMATICS AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING, LNICST, 2018. **Anais...** Springer Verlag, 2018. v.233, p.237–247.

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.

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

RAFFAELE, C. D.; SMITH, S.; GEMIKONAKLI, O. Enabling the effective teaching and learning of advanced robotics in higher education using an active TUI framework., ... **of the 3rd Africa and Middle ...**, 2017.

RAFFAELE, C. D.; SMITH, S.; GEMIKONAKLI, O. An active tangible user interface framework for teaching and learning artificial intelligence., **23rd International Conference 2018**, 2018.

RIEMANN, J.; MÜLLER, F.; GÜNTHER, S.; MÜHLHÄUSER, M. An evaluation of hybrid stacking on interactive tabletops., **SmartObject 2017 - Proceedings of the 2017 ACM Workshop on Interacting with Smart Objects, co-located with IUI 2017**, p.13–20, 2017.

STURDEE, M.; ALEXANDER, J. Analysis and classification of shape-changing interfaces for design and application-based research., **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v.51, n.1, p.1–32, 2018.

VELDHUIS, A.; LIANG, R. H.; BEKKER, T. CoDa: Collaborative data interpretation through an interactive tangible scatterplot., **TEI 2020 - Proceedings of the 14th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction**, n.February, p.323–336, 2020.

ZIDIANAKIS, E. et al. The Farm Game: A Game Designed to Follow Children's Playing Maturity. In: **Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation**. [S.l.]: Springer, 2016. p.20–28.

APÊNDICE B PROTOCOLO DE RSL SOBRE AVALIAÇÃO EM INTERFACES TANGÍVEIS DO USUÁRIO

Vinicius Kruger da Costa

**Revisão Sistemática de Literatura sobre metodologias e ferramentas de
avaliação utilizadas em Interfaces Tangíveis do Usuário**

Pelotas, 2022

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	3
2.1	Objetivos	3
2.2	<i>String</i> de busca	3
2.3	Critérios de Seleção e Exclusão de Artigos	4
3	RESULTADOS	6
3.1	Discussão	26
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Utilizou-se o método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) (PETERSEN et al., 2008) como base para a delimitação deste estudo de análise dos métodos/ferramentas de avaliação empregados em TUI.

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 e Extração e mapeamento de dados.

Uma característica importante da RSL é que todos os procedimentos executados devem ser registrados num determinado fluxo de trabalho (Figura 1), 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) (MARQUES et al., 2015).

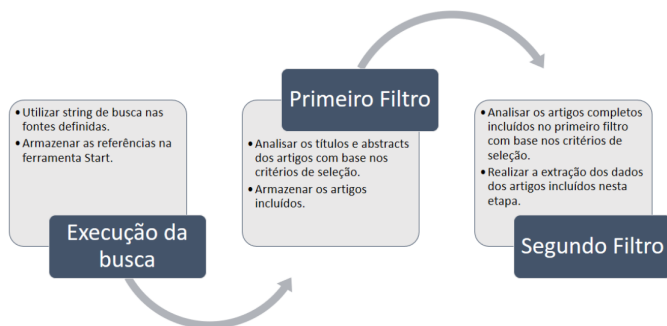


Figura 1 – Sistematização do processo de seleção de trabalhos no RSL. Fonte: Marques et al. (2015) (MARQUES et al., 2015)

O capítulo 2 apresenta um detalhamento do protocolo que foi aplicado nessa RSL, a qual gerou os resultados discutidos no capítulo 3 desse documento.

2 PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Para melhor sistematização dessa RSL utilizou-se como ferramenta o software StArt (*State of the Art through Systematic Review*)¹ (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.

A definição e aplicação do protocolo foi feita entre **Janeiro e Setembro de 2018**, por um grupo de três pesquisadores, na Universidade Federal de Pelotas - RS (UFPel).

2.1 Objetivos

Delimitar o estado da arte sobre as abordagens, métodos e ferramentas 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 métodos, instrumentos/ferramentas elencados para cumprir o objetivo proposto na avaliação dessa TUI?
- (c) Qual o gênero de aplicação TUI (ISHII, 2008a) avaliado no artigo em análise?
- (d) Qual o público alvo principal envolvido no processo de avaliação?

2.2 String de busca

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

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

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 resultaram numa listagem dos artigos. Neste mapeamento, especificamente, foram adotados os seguintes Mecanismos de Busca Acadêmica (MBA):

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

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.

2.3 Critérios de Seleção e Exclusão de Artigos

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:

²<http://dl.acm.org>

³<http://ieeexplore.ieee.org>

⁴<http://www.sciencedirect.com>

⁵<http://link.springer.com/>

- Livro completo, resumo, poster ou artigo curto;
- Ter como foco outra área de pesquisa que não a de discussão de HCI;
- Apresentar aplicação TUI, mas não apresentar o processo de avaliação;

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.

Além dessa inclusão manual dos artigos do IHC, também buscou-se artigos publicados nesse mesmo período no grupo de pesquisa norte americano **Tangible Media Group**⁶ do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Esse foi o centro pioneiro de pesquisas em TUI e tem como líder o Professor Hiroshi Ishii, precursor do conceito de interação tangível com seu artigo *Tangible Bits: Beyond Pixels* (ISHII, 2008b).

⁶<https://tangible.media.mit.edu/>

3 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.

Tabela 1 – Distribuição dos artigos encontrados em cada MBA

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

Esta coleção bruta de artigos foi submetida ao primeiro filtro previsto, no qual o grupo de pesquisadores realizou uma triagem analisando: título, palavras-chave e resumo dos trabalhos. Para efetuar esta seleção, foram utilizados critérios de exclusão e inclusão de artigos, estabelecidos na definição do protocolo RSL, resultando num subconjunto de **86 artigos**.

O segundo ciclo de filtragem envolveu os três pesquisadores com a leitura completa dos artigos para identificação de respostas as questões de pesquisa elencadas anteriormente no protocolo. A intenção desta etapa foi caracterizar os trabalhos dentro do eixo principal previamente estabelecido, eliminando artigos sem contribuições gerais, mas que tivessem sido aceitos durante o primeiro filtro individual de cada pesquisador. Desse modo o conjunto final elencado nessa RSL compreende o total de **50 artigos**.

De modo ilustrativo a Figura 2 mostra uma representação gráfica em formato de nuvem de *tags* com as palavras mais recorrentes que foram utilizadas nos títulos dos artigos finais referenciados. Palavras como *tangible*, *children*, *collaborative*, *design*, *evaluation*, demonstram algumas características bem específicas das aplicações re-

tornadas nesses artigos referentes ao perfil de usuários da aplicação, características das TUI e de projeto e avaliação desses sistemas.



Figura 2 – Nuvem de *tags* com as palavras mais recorrentes nos títulos dos artigos finais selecionados. Fonte: Autor (2018)

Esses 50 artigos apresentaram uma distribuição relativamente uniforme de publicação através dos anos, dentro do universo proposto pelo protocolo do RSL (2013 a 18), conforme apresentado na Figura 3. 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.

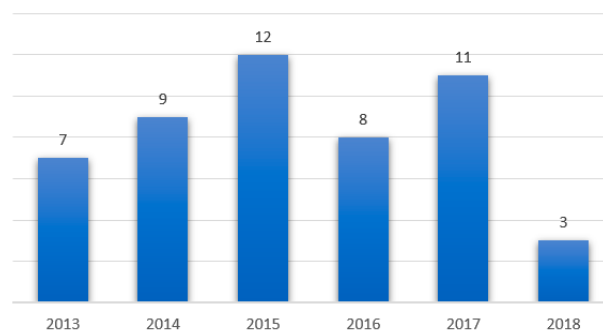


Figura 3 – Distribuição de publicações selecionadas na RSL com relação aos anos. Fonte: Autor (2018)

Outro aspecto com relação aos artigos selecionados na etapa de extração da RSL é que a totalidade desses têm vários pesquisadores como autores. Como apresentado

na Figura 4, uma quantidade menor de artigos foi produzida envolvendo somente dois autores, sendo que a grande maioria envolve três ou mais autores no desenvolvimento do trabalho.

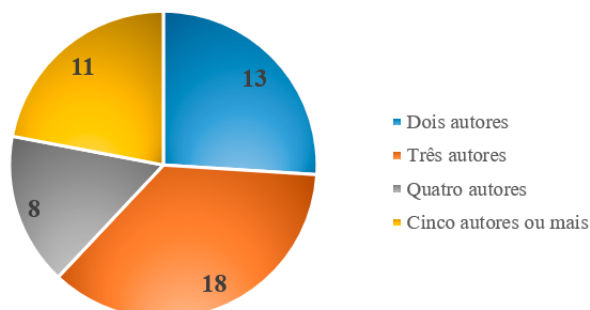


Figura 4 – Distribuição da quantidade de autores em relação aos artigos selecionados na RSL. Fonte: Autor (2018)

Pode-se criar como hipótese para essa característica de múltipla autoria a própria dinâmica que envolve a avaliação de um determinado tipo de interação com uma TUI. O próprio desenvolvimento de uma aplicação com essa interface também demanda esforços de um determinado grupo de pessoas ou de um centro de pesquisa.

Na maioria dos casos o desenvolvimento desses trabalhos envolvem três autores, sendo que dos artigos listados as situações mais extremas envolvem oito (ALRASHED et al., 2015) ou nove (DUCKWORTH et al., 2015) autores.

Com relação aos países de origem (Figura 5), as publicações selecionadas encontram-se em maior quantidade na Alemanha, Tailândia, Luxemburgo e Espanha com algumas considerações:

- **Alemanha** Não existe nenhuma relação, a priori, entre os autores e as pesquisas, sendo que as mesmas não apresentaram continuidade nos desenvolvimentos;
- **Tailândia** Os trabalhos são desenvolvidos em centros de pesquisa diversos (sendo que dois deles no mesmo departamento *Department of Industrial Design, National Cheng Kung University*), mas com autores diferentes. Provável esforço de um grupo de pesquisa para produção continuada na área;
- **Luxemburgo** Todos os trabalhos oriundos de uma mesma instituição, *Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST)*, sendo que alguns autores (Eric Tobias e Valérie Maquil) são referenciados em até três artigos, o que caracteriza um esforço de grupo de pesquisa estruturado dentro da instituição e com produção com continuidade;
- **Espanha** Também apresenta origens diversas de instituições de pesquisa, contudo dois artigos apresentam os mesmos autores (Clara Bonillo, Sandra Bal-

dassarri, Javier Marco e Eva Cerezo) constituindo um grupo de pesquisa dentro de uma mesma Universidade (*GIGA Affective Lab - Universidad de Zaragoza - Zaragoza - Espanha*).

- **Japão** Também não apresentou nenhuma relação entre os trabalhos, entre os autores e as pesquisas, sendo que as mesmas não apresentam uma continuidade;

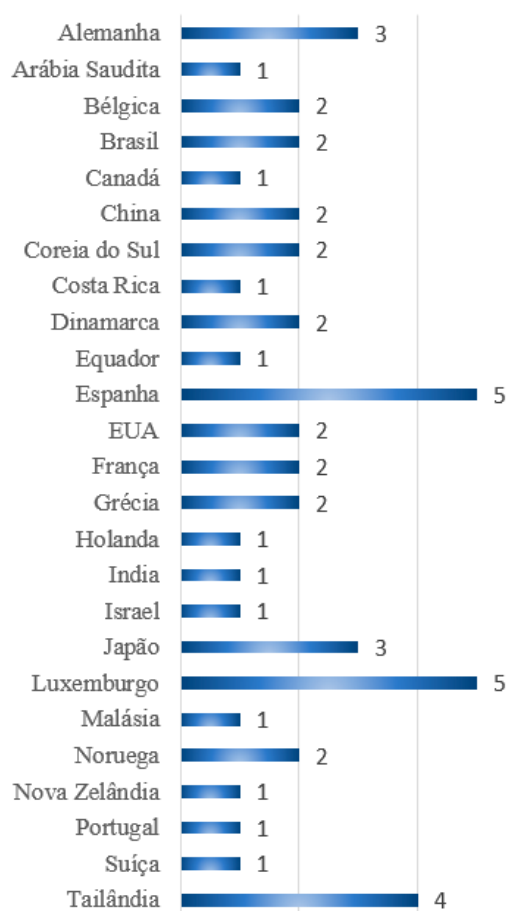


Figura 5 – Distribuição dos países de origem em relação aos artigos selecionados na RSL. Fonte: Autor (2018)

Vários outros países também apresentaram artigos completos com aplicações em TUI demonstrando todo processo de avaliação envolvido, conforme apresentado na Figura 5, o que de alguma forma demonstra um interesse de diversos pesquisadores ao redor do globo sobre o assunto. Contudo, chama atenção que os EUA apresentaram como resultado da RSL somente dois artigos dentro da aplicação do protocolo, sendo que nenhum dos mesmos tem relação com o *Tangible Media Group* do MIT.

Por ser o centro pioneiro envolvido em pesquisas com TUI, esperava-se que o *Tangible Media Group* apresentasse mais resultados de pesquisas nos artigos científicos

dos últimos anos. Pesquisando manualmente pelas produções do grupo de pesquisa percebe-se que nos últimos anos o foco de esforços tem sido no desenvolvimento de materiais ou tecnologias que possam conferir o último salto qualitativo em direção aos *Radical Atoms*, como por exemplo o artigo *WraPr: Spool-Based Fabrication for Object Creation and Modification* (LEONG et al., 2020) que apresenta um protótipo de impressão 3D para materiais que podem ter suas formas posteriormente modificadas (expandidas ou contraídas) pelos usuários com algum processo de interação tátil.

Mesmo nos dois artigos que apresentam uma aplicação com TUI *SociaBowl: A Dynamic Table Centerpiece to Mediate Group Conversations* (LEONG et al., 2019) e *inFORCE: Bi-directional 'Force' Shape Display For Haptic Interaction* (NAKAGAKI et al., 2019) não existiu nenhum processo de avaliação envolvendo usuários, simplesmente apresentando a aplicação, métodos de implementação do protótipo, possíveis contextos de uso e trabalhos futuros.

Com relação a lista de distribuição dos artigos entre os periódicos e eventos (Tabela 2) apresentou uma grande dispersão, sendo que o *Lecture Notes in Computer Science* apresentou a maior relevância (20 artigos), muito provavelmente em função de agregar alguns resultados *Proceedings* de diversos eventos. Chama a atenção o perfil diverso de temas dos periódicos, que vão dos focados especificamente na área de HCI (como por exemplo, *Journal on Multimodal User Interfaces*, *International Conference on Human Interface and the Management of Information*) até contextos de aplicação em diversos segmentos (como por exemplo, *Transportation Research Procedia*, *Journal of Geographical Systems*, *Procedia Manufacturing*).

Com a leitura completa dos artigos finais selecionados, buscou-se de modo objetivo responder todas as perguntas de pesquisa elencadas anteriormente no protocolo, extraíndo esses dados através da ferramenta StArt, demonstrando e discutindo os resultados a seguir.

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

Como demonstrado na Tabela 3, 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.

Os fatores envolvidos nessa abordagem estão diretamente relacionados 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

Tabela 2 – Distribuição das publicações selecionadas na RSL entre periódicos e eventos

Periódico/Evento	Quantidade de artigos
International Computer Assisted Assessment Conference	01
International Conference on Human Interface and the Management of Information	01
Advances in Intelligent Systems and Computing	03
Applied Ergonomics	01
Computers and Education	01
Computers and Graphics (Pergamon)	01
Computers in Industry	01
Expert Systems with Applications	01
International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence	01
International Journal of Child-Computer Interaction	01
International Journal of Human Computer Studies	01
Journal of Geographical Systems	01
Journal of Supercomputing	01
Journal on Multimodal User Interfaces	01
Lecture Notes in Computer Science	20
Personal and Ubiquitous Computing	01
Procedia Manufacturing	03
Proceedings of the 2015 ACE International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology	01
Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems	01
Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems	01
Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction	01
Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems	02
Transportation Research Procedia	01
Universal Access in the Information Society	04

Tabela 3 – Abordagens de avaliação utilizadas nos artigos selecionados

Abordagem de avaliação	Quantidade de artigos
Usabilidade	28
Experiência de Usuário	18
Comunicabilidade	0
Não identificada	7

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).

Como exemplos de uso dessa abordagem de avaliação temos o artigo ***Mouse, Tactile, and Tangible Input for 3D Manipulation*** (BESANcON et al., 2017) que mensurou o desempenho e usabilidade na utilização do mouse em comparação como uma interação tangível na manipulação de objetos 3D num ambiente virtual. O trabalho analisou o que foi mais eficiente no uso pelos participantes na manipulação 3D para uma tarefa de encaixe de um modelo virtual, comparando o uso do mouse numa GUI ao uso de um objeto físico (token) numa TUI, como pode ser visto na Figura 6.

Essa comparação serviu para um melhor entendimento no uso, limitações e benefícios dessa interface com um objeto físico como *input* para uma forma de interação tangível e utilizou medidas quantitativas, como tempos de conclusão de tarefa, a precisão do encaixe e também critérios subjetivos, como fadiga, carga de trabalho e preferência.

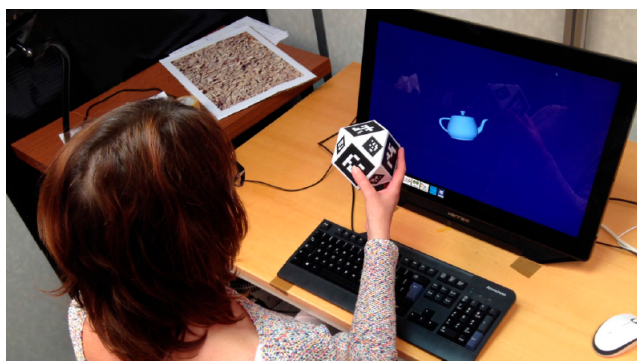


Figura 6 – Usuário interagindo com o objeto tangível numa TUI no estudo comparativo ao mouse. Fonte: Besançon et al. (2017) (BESANcON et al., 2017)

Foram 36 participantes que efetuaram mais de 540 rodadas de teste em cada uma das modalidades de *input*, sendo que todos os testes foram registrados em gravações por câmera.

Como resultado o artigo apresentou um tempo de execução menor com uma TUI para execução das tarefas, bem como os mesmos níveis de precisão se comparados a uma GUI e maior preferência dos usuários no uso da TUI com descobertas de um novo potencial contexto para uso dessa aplicação no domínio de ambientes de análise

de dados 3D.

No artigo **To TUI or not to TUI: Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces** (ZUCKERMAN; GAL-OZ, 2013) também é comparada a relação de uso de interação com TUI vs GUI na perspectiva de eficiência. Com o uso dos dispositivos tangíveis FlowBlocks (ZUCKERMAN; GAL-OZ, 2013) ¹ (Figura 7) que tem por objetivo o ensino de computação, 58 usuários participaram do processo de avaliação que consistia basicamente em montar quantos modelos fossem possíveis num intervalo de 30 minutos, sem nenhuma instrução ou diretriz.

Verificou-se nos resultados que usuários com a TUI utilizaram em média mais blocos por modelos do que quem usou a GUI, além de utilizarem mais blocos diferentes. Em termos de usabilidade foi avaliada a relação quantitativa de desempenho na repetição de determinados modelos apresentados na GUI e o quanto se levava de tempo para reproduzir com os blocos físicos.

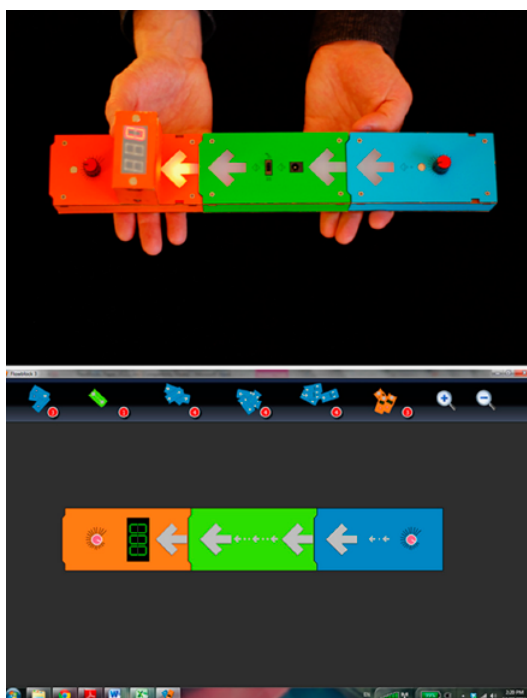


Figura 7 – Versão TUI do *FlowBlocks* (figura superior) e versão da GUI (figura inferior).
Fonte: Zuckerman; Gal-OZ (2013) (ZUCKERMAN; GAL-OZ, 2013).

Além dos dados de eficiência aplicou-se uma entrevista aberta para análise de percepção dos participantes sobre suas preferências entre uma ou outra forma de interação onde chama a atenção o depoimento de um usuário que relata: “É um pouco mais natural trabalhar com blocos reais, é mais prático, está na sua frente, você está fazendo algo, você está tocando em algo, é mais sensorial”.

¹(Criado no MIT Lab (ZUCKERMAN; GAL-OZ, 2013), são blocos de madeira com computação embarcada e conectores magnéticos que ao se encaixarem uns aos outros representam as estruturas de fluxo de dados

Com base nesse depoimento percebe-se que a abordagem de usabilidade, apesar de ser a mais utilizada, não consegue capturar com total precisão as percepções dos usuários com uma interface, detendo-se prioritariamente em questões quantitativas de eficiência e eficácia, preocupando-se com quantidades de erros e velocidades de execução.

Nesse sentido aparece a **Experiência de Usuário** como a segunda abordagem mais utilizada, pois está ligada não somente a facilidade de uso de uma interface, mas também englobando 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) (DARLEY et al., 2017) e (ALRASHED et al., 2015).

O artigo ***Tangible Interfaces: An Analysis of User Experience Using the AR Sandbox Project*** (DARLEY et al., 2017) (Figura ??) justamente teve como ponto central do seu processo de avaliação as percepções e sensações gerais experienciadas durante o uso da aplicação com TUI. Com o uso de um questionário que avalia a atratividade e qualidade hedônica como satisfação no uso (ferramenta que será apresentada no item a seguir), os pesquisadores conseguiram inferir o impacto para questões além da eficiência de uso, como por exemplo, fatores ambientais e sua relação com um uso mais satisfatório e prazeroso da aplicação.

Num ambiente de simulação de informações topográficas, a maioria dos usuários demonstrou interesse com esse tipo de interação tangível, sendo que suas expressões eram de “satisfação e surpresa” (DARLEY et al., 2017). Ainda, segundo Darley et al. (2017), como os participantes da avaliação eram em sua maioria estudantes universitários do curso de Engenharia Hídrica, os mesmos utilizaram o próprio conhecimento para simular situações como construção e rompimento de barragens, observando o comportamento do fluxo de água, por exemplo.

Já o artigo ***Design and evaluation of distributed user interfaces between tangible tabletops*** (BOUABID; LEPREUX; KOLSKI, 2017), apresenta um estudo de avaliação sobre o uso coletivo de uma mesa tangível interativa na tarefa de classificação de objetos e cores para crianças (Figura 8). O modelo proposto ainda contempla um aplicativo distribuído entre duas mesas tangíveis de forma que o processo de interação

ocorria simultaneamente em ambas.



Figura 8 – Mesa tangível interativa com a perspectiva de visão de uma criança Fonte: Bouabid; Lepreux; Kolski (2017) (BOUABID; LEPREUX; KOLSKI, 2017).

A avaliação, com doze grupos de teste, cada um composto por três participantes (dois adultos no papel de crianças e um adulto mediando a experiência), envolveu um aplicativo distribuído para o aprendizado e reconhecimento de cores e foi apoiado em observações, análise de traços e questionários de satisfação do usuário.

Cabe aqui ressaltar um aspecto importante do processo de avaliação de UX desse projeto, o qual tem por objetivo ser disponibilizado para crianças, contudo o processo de avaliação não teve nenhum envolvimento delas. A justificativa dos autores é a dificuldade de envolvimento de crianças em responder um questionário ou de passar suas percepções gerais de experiência de uso da aplicação.

Contudo, mesmo apresentando resultados satisfatórios com relação a UX, com boas percepções relatadas pelos participantes (condição de usuários adultos facilitou o processo), segundo os próprios autores, não há garantia que os resultados sejam similares aos alcançados com um grupo de crianças. Nesse caso cabe questionar qual o propósito da avaliação numa abordagem de UX sem envolvimento direto do perfil de usuário ligado ao contexto final da aplicação.

Sete artigos apresentaram testes que não permitiram uma categorização sobre a abordagem de avaliação utilizada, sendo que a maioria destes aplicou somente testes funcionais de validação de uso das tecnologias desenvolvidas: (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). Basicamente os dados coletados de avaliação são testes de captação de sinais, de tratamento de dados ou de como evoluir a plataforma de *hardware* do sistema computacional, não gerando uma discussão sobre o processo de interação com usuários em si.

Nenhum dos trabalhos listados utilizou a abordagem da **Comunicabilidade** durante a aplicação dos processos de avaliação das TUI.

Conforme os artigos listados e as abordagens de avaliação, a Figura 9 apresenta que três deles (LUBOS et al., 2015) (AYALA et al., 2015) (SKULMOWSKI et al., 2016) conjugaram a abordagem de Usabilidade e de Experiência de Usuário, utilizando como ferramenta principal de avaliação um questionário.

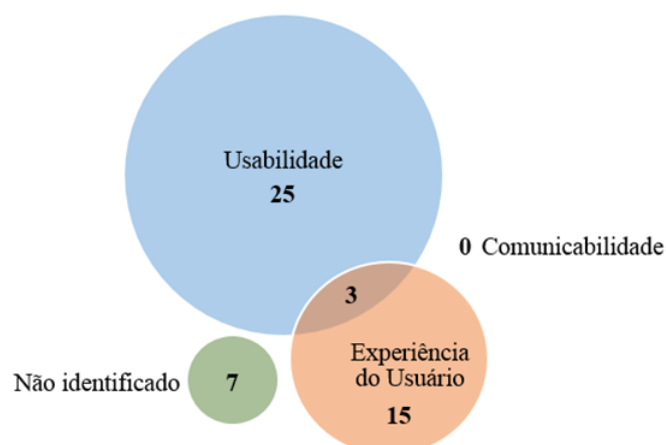


Figura 9 – Abordagens de avaliação utilizadas nos artigos selecionados

O artigo ***HoverSpace: Analyses of the Perceived Spatial Affordances of Hover Interaction Above Tabletop Surfaces*** (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 na interação através de mesas interativas (Figura 10). Ao mesmo tempo que apresentam-se testes de eficiência/eficácia com performances e taxas de erros de modo quantitativo, com uso de protocolos específicos, existe uma 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.

O trabalho ***Embodied learning using a tangible user interface: The effects of haptic perception and selective pointing on a spatial learning task*** (SKULMOWSKI et al., 2016) também apresentou um sistema de avaliação semelhante a (LUBOS et al., 2015). O objetivo desse artigo era apresentar o quanto o uso de uma interação tangível era mais eficiente no processo de aprendizagem de reconhecimento das partes anatômicas de um coração humano.

Foram convidados 101 participantes estudantes, que nunca haviam tido aulas de anatomia, para randomicamente utilizar uma aplicação com GUI ou um dispositivo TUI (um modelo físico de coração de borracha). Num momento inicial se instrumentalizavam com a ferramenta na qual apresentava 21 partes específicas do coração, sendo

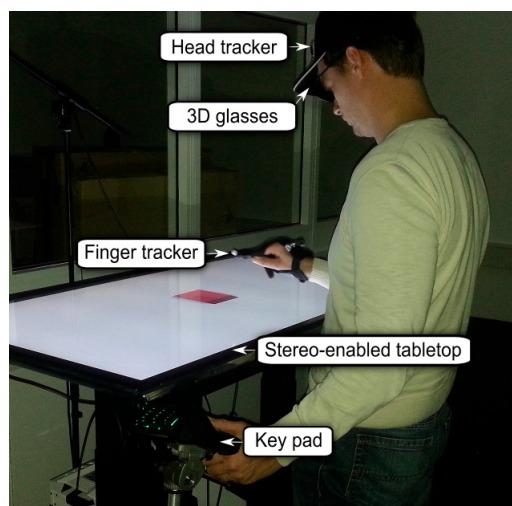


Figura 10 – Participante durante o experimento do HoverSpace. Fonte: Lubos, et al. (2015) (LUBOS et al., 2015)

que posteriormente era solicitado que, sem dados de identificação, eles tentassem localizar o ponto que era solicitado pelo avaliador.

Além dos resultados quantitativos com mais índices de acerto no uso da aplicação com TUI, avaliou-se que os participantes tinham mais interesse, desafio e eficácia no uso da interação tangível.

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

Todos os artigos listados na RSL apresentam métodos e técnicas de avaliação empíricas/experimentais, utilizando a observação dos usuários para identificação dos problemas, ou posterior aplicação de ferramentas de questionário ou entrevista para captação de percepções. Mesmo nas avaliações que empregaram foco em usabilidade em nenhum dos casos se identificou a aplicação de qualquer método de inspeção, como uso de heurísticas, por exemplo.

Identificou-se também que 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 4, o uso de entrevistas (estruturadas ou semi-estruturadas), questionários e a observação dos especialistas foram as ferramentas/instrumentos mais utilizados na aplicação das avaliações nos artigos da RSL.

O gráfico representativo na Figura 11 tenta relacionar as abordagens de avaliação empregadas em relação a ocorrência das ferramentas ou instrumentos utilizados para cumprimento dos objetivos propostos, sendo que um mesmo artigo ou aplicação pode ter utilizado mais de um instrumento ao mesmo tempo.

Tabela 4 – Instrumentos/ferramentas de avaliação utilizadas nos artigos selecionados

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

Abordagem de avaliação

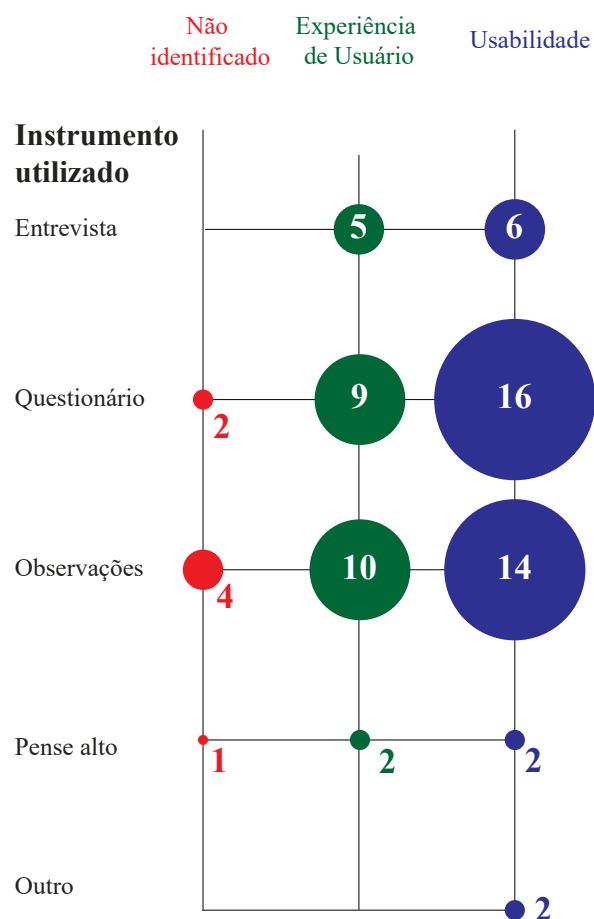


Figura 11 – Abordagens de avaliação vs. Instrumentos de avaliação apresentados nos artigos selecionados

As entrevistas normalmente foram realizadas de forma semi-estruturada, com algumas perguntas chaves pré determinadas e outras livres, com o objetivo de avaliar como um determinado grupo de usuários se sentiu com relação a execução de tarefas na aplicação usando a TUI, ou em como eles se sentiram em termos de experiência de usuário.

Um exemplo de uso desse instrumento é apresentado no artigo ***Virtual Touch FlyStick and PrimBox: Two Case Studies of Mixed Reality for Teaching Geometry*** de Ayala et al. (2015) (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 num dispositivo que usa uma TUI (Figura 12). Nesse cenário um questionário simplificado aplicado as crianças, no nível "gostou ou não gostou", conjugado com entrevistas aos educadores que auxiliaram no projeto pedagógico da aplicação, permitiu uma avaliação mais apurada dos diversos agentes envolvidos no processo de interação.



Figura 12 – Um estudante trabalhando numa atividade usando a TUI através FlyStick.
Fonte: Ayala et al. (2015) (AYALA et al., 2015)

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.

No artigo ***Towards a collaborative Geographical Information System to support collective decision making for urban logistics initiative*** (GUERLAIN; CORTINA; RENAULT, 2016) é proposto um sistema de gestão para logística, chamado *The Smart City Logistics*, dentro do conceito de *Smart Cities*. Para cumprir esse objetivo utilizou-se uma mesa tangível interativa e vários *tokens*, na qual os usuários ao redor podem, de forma colaborativa, elaborar melhores rotas e locais de centro de distribuição (Figura 13).

O grupo focal proposto nesse artigo contou com cerca de dez indivíduos que parti-

participaram de cada sessão (foram três no total). Os participantes foram atores públicos e privados familiarizados com as questões de logística urbana, e a maioria deles estava diretamente preocupada com uma das cidades estudadas (Londres, Luxemburgo ou Bruxelas).

Todas as sessões foram gravadas e tiveram dois especialistas como facilitadores do processo de uso e de interação inicial com a TUI, possibilitando desse modo uma avaliação mais abrangente.



Figura 13 – Usuário utilizando *The Smart City Logistics* numa mesa tangível interativa. Fonte: Guerlain; Cortina; Renault (2016) (GUERLAIN; CORTINA; RENAULT, 2016)

Como conclusões sobre o uso do processo de avaliação em si o artigo discutiu a diferença no nível de engajamento de um grupo focal para o outro tipo de instrumento, sugerindo que algumas adaptações são necessárias para incluir os usuários ao processo participativo.

Após as avaliações das primeiras sessões, foram feitas alterações à estrutura do grupo focal, especificamente aumentando o tempo dedicado as discussões e trocas interativas, adicionando novas camadas de informações (aumentando o número de *tokens*) e propondo atividades pré-grupo focal para criar uma boa atmosfera de participação entre os participantes.

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 et al., 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., 2017).

O AttrakDiff (HASSENZAHL; BURMESTER; KOLLER, 2003) utiliza pares de adjetivos opostos para que os usuários (ou potenciais usuários) possam identificar a sua percepção do produto. Os adjetivos representam quatro possíveis dimensões para avaliação. São elas:

- Qualidade pragmática (PQ): Descreve a usabilidade de um produto e indica como os usuários alcançam seus objetivos ao usar o produto.
- Qualidade hedônica - Estimulação (HQ-S): Essa dimensão explora o potencial evolutivo do produto. Em outras palavras indica até que ponto o produto pode suportar as necessidades de usuário em termos de inovação, interesse e funções estimulantes, conteúdo e estilos de interação e apresentação.
- Qualidade hedônica - Identidade (HQ-I): Essa dimensão indica até que ponto o produto permite ao usuário se identificar com ele.
- Atratividade (ATT): É uma medida que representa através de um valor global a qualidade do produto percebida pelo usuário. É importante ressaltar que a qualidade hedônica e pragmática são dimensões independentes e ambas contribuem para a medida de atratividade.

A figura 14 apresenta o resultado de avaliação de UX do AR Sandbox no artigo (DARLEY et al., 2017). Nesta avaliação o questionário foi utilizado pelos usuários, os quais indicaram suas opiniões em uma escala semântica que varia de um adjetivo a outro, sem mediação de especialistas ou dos avaliadores.

Foram 80 participantes classificados entre especialistas (pessoas com conhecimento técnico da área de aplicação da TUI) e não especialistas que utilizavam livremente a aplicação, supervisionados pelos avaliadores, com posterior aplicação do questionário.

A técnica de observação foi a mais referenciada nos artigos finais selecionados e a representação do gráfico da Figura 11 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 **FingerTrips on Tangible Augmented 3D Maps for Learning History** (TRIANTAFYLLIDOU et al., 2017) (Figura 15), 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.

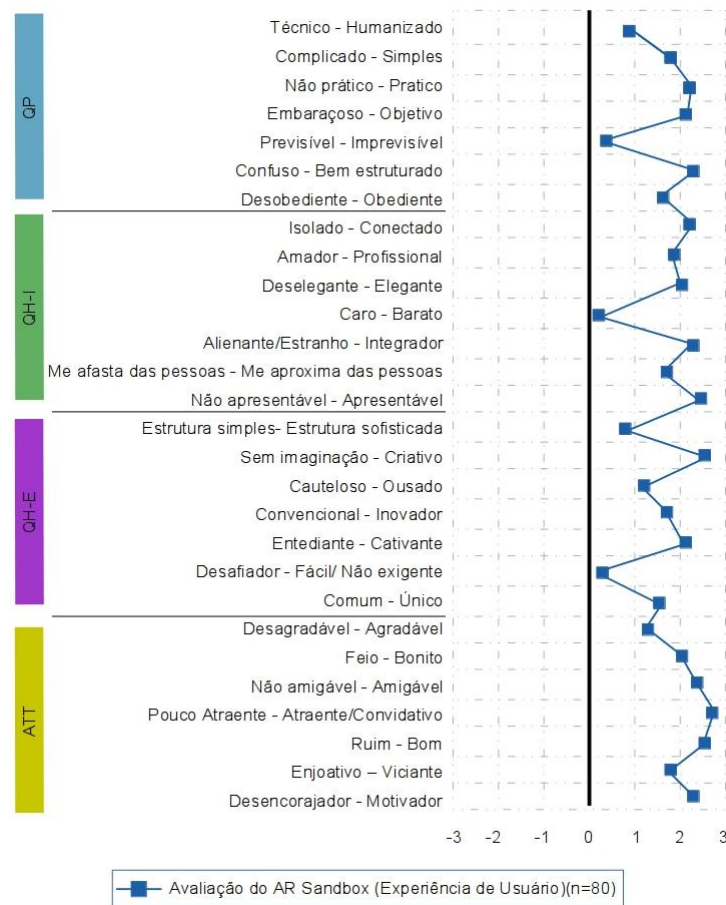


Figura 14 – Resultados da avaliação por UX da ferramenta Attrackdiff utilizado na AR Sandbox. Fonte: Darley et al. (2017) (DARLEY et al., 2017)



Figura 15 – A paisagem em realidade aumentada do forte Rupel. Fonte: Triantafyllidou et al. (2018) (TRIANTAFYLLIDOU et al., 2017)

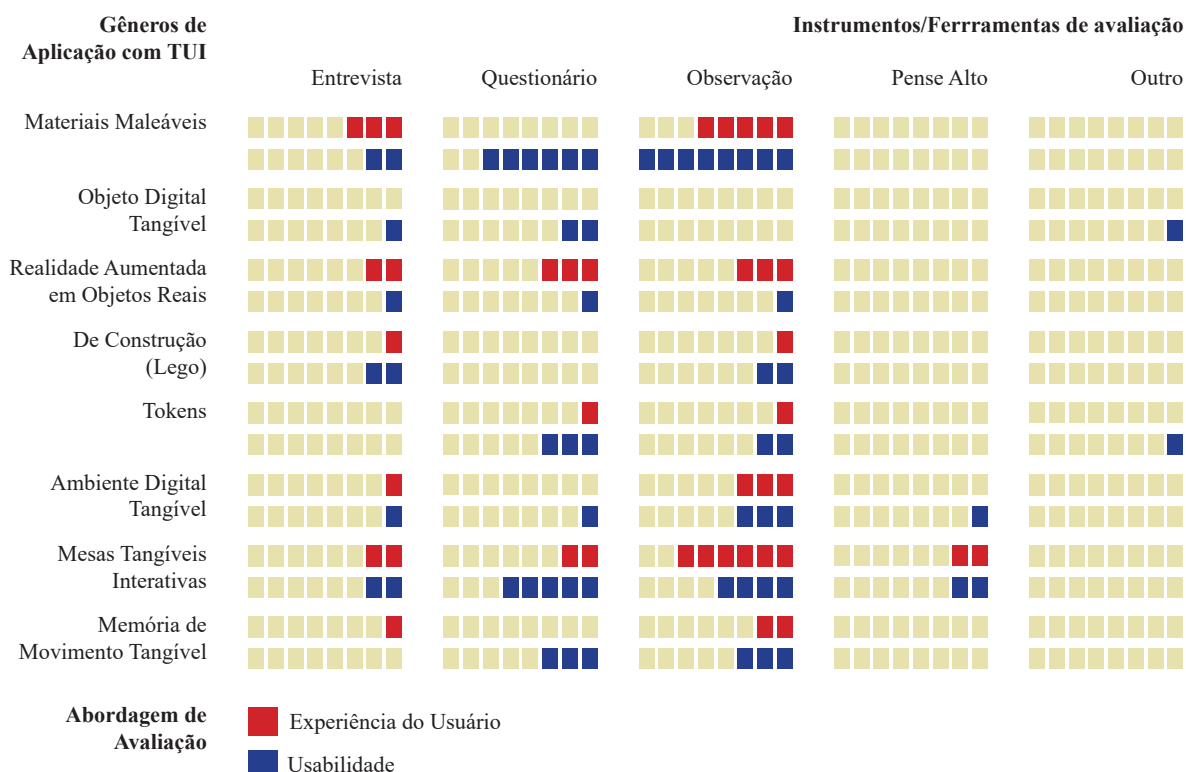


Figura 16 – Distribuição de gêneros de aplicação TUI entre as abordagens e instrumentos de avaliação. Fonte: Autor (2019)

Utilizou-se um questionário no processo de interação com os alunos com uma observação direta do uso da aplicação por especialistas. Todas as seções foram gravadas, o que permitiu uma análise de um grupo maior de avaliadores posteriormente a realização das seções.

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

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

Aplicações que envolvem memória de movimento tangível, utilização de *tokens*, realidade aumentada sobre objetos reais e ambientes digitais tangíveis também representam um grande grupo de soluções propostas (7 aplicações cada uma), conforme ilustrado na Figura 17.

Cabe ressaltar que diversos artigos apresentam uma determinada aplicação que utiliza TUI e, por suas características, enquadram-se em mais de um gênero.

A Figura 16 apresenta a distribuição no uso de instrumentos e abordagens de avaliação entre os gêneros de aplicação TUI. Pode-se evidenciar, analisando o resultado, que o uso de questionário e observações como instrumentos de avaliação são utili-



Figura 17 – Distribuição de gêneros de aplicação TUI entre aplicações. Fonte: Autor (2019)

zados na maioria dos artigos selecionados, sendo que isso fica mais perceptível nas mesas digitais tangíveis e nos materiais maleáveis.

Normalmente as soluções que envolveram o uso dessas mesas digitais tangíveis e/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 já apresentada em (DARLEY et al., 2017) 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, agindo 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) (ANTONIJOAN; MIRALLES, 2016), no artigo ***Tangible Interface for Controlling Toys-To-Life Characters Emotions*** que desenvolveram uma TUI para controle de um brinquedo (Figura 18) com uso de rede de sensores que captam os movimentos dos usuários, gerando o *feedback* disso no objeto físico boneco.

Neste artigo também ocorreu uma avaliação de comparação entre uma interface gráfica (com uso de *touchscreen*) comparado ao uso do boneco físico (TUI) para transmissão de emoções a um determinado personagem.

(d) Qual o público alvo principal envolvido no processo de avaliação?



Figura 18 – Boneca vestindo uma mochila que contém os sensores do dispositivo.
Fonte: Antonijuan Miralles (2016)

Grande parte das soluções com TUI desenvolvidas são direcionadas 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 2) como também de perfil de usuário para avaliações nos testes das aplicações.

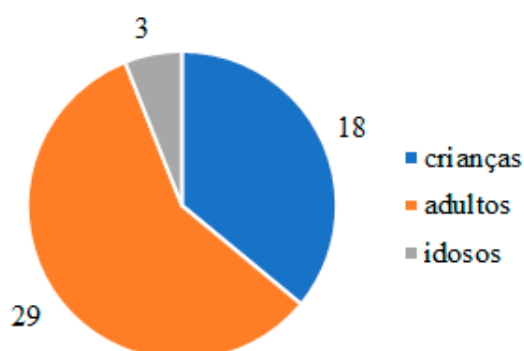


Figura 19 – Público alvo das aplicações TUI nos artigos referenciados na RSL e que participaram do processo de avaliação.

Diversas dessas soluções tentam conjugar conceitos de jogos eletrônicos a processos de aprendizagens, como os já citado em (TRIANTAFYLLIDOU et al., 2017) ou em (AYALA et al., 2015).

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 um sistema 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 com preocupação em questões próprias dessa faixa etária, tal como de visualização para auxílio no uso de medicação, proposto em (DE CROON et al., 2017), por exemplo.

No artigo (DE CROON et al., 2017) **MeViTa: Interactive visualizations to help older adults with their medication intake using a camera-projector system** foi desenvolvido um protótipo (Figura 20) que aumenta as capacidades dos idosos compreenderem sozinhos como administrar suas medicações de uso diário.

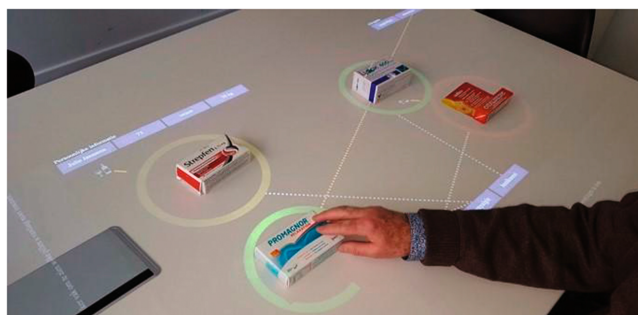


Figura 20 – Visão de interação do design final com as caixas de medicamentos em cima da mesa, as quais são reconhecidas e disponibilizam as informações projetando-as em torno das caixas. Fonte: Croon et al. (2017) (DE CROON et al., 2017)

Com uso de design centrado no usuário o projeto envolveu profissionais da área médica, farmacêutica e pessoas idosas (22 usuários no teste) que avaliaram a aplicação seguindo algumas tarefas pré-determinadas, e que os forçava a executar determinadas funções anteriormente explicadas. Não foi relatado nenhum problema ou restrição durante o processo de avaliação, nem questionou-se aspectos ergonômicos ou de conforto no uso do dispositivo com relação aos idosos.

3.1 Discussão

Com base nos resultados gerados pela aplicação da RSL, pode-se apontar algumas observações sobre o uso dos processos de avaliação aplicados a TUI.

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 permitem a colaboração dos usuários durante o próprio processo de avaliação.

Todos os artigos utilizaram métodos empíricos / experimentais em suas ferramentas, de modo que nenhum deles apresentou verificação ou inspeção por heurísticas. Possivelmente isso se deva ao fato de não existirem trabalhos acerca de diretrizes específicas para avaliação com TUIs.

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 uma 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.

As ferramentas em geral não consideram os conceitos de Interação Baseada em Realidade. 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 das 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 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 o ponto de vista dos usuários em grupo.

O perfil 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 tendência de uso de certos instrumentos de avaliação atrelados determinados gêneros de aplicação de TUI. Dos 20 artigos que apresentaram aplicações de mesas interativas, por exemplo, 18 deles usam instrumentos conjugados de questionários com 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, 6 delas aplicaram questionários e 13 usaram observações, o que evidencia que várias avaliações usaram de modo conjunto esses dois instrumentos.

Também pode-se concluir que os questionários fechados geralmente não oferecem espaço para o diálogo entre os avaliadores e os usuários enquanto que os resultados das observações são descrições mais detalhadas do comportamento e ações dos usuários.

Os métodos quantitativos, por outro lado, permitem o agrupamento das respostas dos usuários para analisar o que é comum entre as respostas e, com a generalização, pode-se extrair informações para comparações.

Porém, mesmo o questionário AttrackDiff não apresenta perguntas básicas que contemplam o escopo completo da experiência de interação com uma TUI. Se forem feitas avaliações com os instrumentos inadequados, pode haver uma interpretação incorreta dos resultados e o design de novas aplicações na TUI pode ter impactos.

Assim, o primeiro passo na proposta de uma metodologia específica de avaliação para as TUIs é entender que os instrumentos existentes são falhos, pois foram criados num contexto de uso predominante de GUI.

Isso é reforçado pelo fato 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.

Pode-se, também, apartir da análise geral dos artigos referenciados na RSL, gerar categorias baseadas nos objetivos propostos pelos seus processos avaliativos:

- **Comparação entre interfaces do usuário:** visam comparar o uso de interfaces ditas tradicionais, tal como GUI, em relação ao uso de TUI, avaliando quais os ganhos/benefícios no uso da interação tangível. Normalmente utilizam os mesmos instrumentos já tradicionais de avaliação, com critérios desenvolvidos para GUI, aplicados num uso novo com TUI, usando questionários e usabilidade como foco;
- **Interação colaborativa:** sabe-se que as TUI tem como característica principal privilegiar o processo de interação colaborativo, num determinado espaço físico. Esse grupo de artigos tenta justamente avaliar se essa característica das TUI potencializa uma determinada experiência de usuário numa aplicação que necessite mais desse processo de colaboração. Privilegia-se nesses casos o uso de abordagens e instrumentos de avaliação como grupos focais, observações e questionários de experiência do usuário;
- **Ferramentas de educação:** tem por objetivo propor soluções que são ferramentas com foco no processo de ensino/aprendizagem para crianças e jovens. São de contextos específicos e apresentam uma variação nos instrumentos de avaliação, justamente pela complexidade inerente a aplicação de questionários estruturados com crianças.

Esses grupos de categorização ajudam na compreensão de que as avaliações tem diversas propostas. O modo como o objetivo é colocado no processo avaliativo impacta na prescrição do próprio método e isso deve ser considerado, também, na criação de metodologias específicas que envolvam TUI.

REFERÊNCIAS

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

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**, 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**, p.1–19, 2017.

BROOKE, J. et al. SUS-A quick and dirty usability scale., **Usability evaluation in industry**, v.189, n.194, p.4–7, 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.

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.

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.

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.

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^a.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.

GUERLAIN, C.; CORTINA, S.; RENAULT, S. Towards a collaborative Geographical Information System to support collective decision making for urban logistics initiative., **Transportation Research Procedia**, 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.

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

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.

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**, p.1–16, 2017.

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

ISHII, H. The tangible user interface and its evolution., **Communications of the ACM**, v.51, n.6, p.32–36, 2008.

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.

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.

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

LEONG, J. et al. SociaBowl: A Dynamic Table Centerpiece to Mediate Group Conversations. In: EXTENDED ABSTRACTS OF THE 2019 CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2019. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2019. p.1–6.

LEONG, J. et al. WraPr: Spool-Based Fabrication for Object Creation and Modification. In: FOURTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2020. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2020. p.581–588.

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.

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

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

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.

MARQUES, A.; LOPES, A.; ORAN, A.; CONTE, T. Modelagem de Interação e Navegação de Sistemas Interativos: Protocolo de um Mapeamento Sistemático da Literatura., **USES Technical Report Number RT-USES-2015-0001**, Jul 2015.

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.

NAKAGAKI, K. et al. inFORCE: Bi-directionalForce'Shape Display for Haptic Interaction. In: THIRTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TANGIBLE, EMBEDDED, AND EMBODIED INTERACTION, 2019. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2019. p.615–623.

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

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

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.

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**, p.1–20, 2017.

SAPOUNIDIS, T.; DEMETRIADIS, S. Tangible versus graphical user interfaces for robot programming: exploring cross-age children's preferences., **Personal and ubiquitous computing**, 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**, 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**, v.92, p.64–75, 2016.

SUN, H.-H.; WU, F.-G. Applied Motion Analysis on TUI Design for Lovers Cooking Together., **Procedia Manufacturing**, 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**, v.6, p.39–48, 2015.

TADA, K.; TANAKA, J. Tangible programming environment using paper cards as command objects., **Procedia Manufacturing**, 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.

TRIANAFYLLIDOU, 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.

WALTHER, J. U.; BÆRENTZEN, J. A.; AANÆS, H. Tangible 3D modeling of coherent and themed structures., **Computers & Graphics**, 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**, v.70, n.1, p.269–283, 2014.

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.

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**, v.71, n.7-8, p.803–820, 2013.

**APÊNDICE C TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ES-
CLARECIDO - CESSÃO DE DIREITO DE USO DE GRAVA-
ÇÃO E REGISTRO DE ENTREVISTA PARA FINS EDUCACI-
ONAIIS/CIENTÍFICOS**



Universidade Federal de Pelotas

Programa de Pós-graduação em Computação

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Cessão de direito de uso de gravação e registro para fins educacionais/científicos

Eu _____, portador(a) do CPF _____ afirmo que aceitei participar, por minha própria vontade, da entrevista sobre a pesquisa intitulada “MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS”, a qual será gravada e fotografada. Concedo a permissão para que imagens e todos os registros dessa sessão sejam utilizados em trabalhos de cunho educacionais e científicos, preservando o sigilo das informações concedidas. Fui informado(a) de que posso me retirar do projeto a qualquer momento, sem sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos. Fui também esclarecido(a) de que os usos das informações por mim oferecidas estão submetidos às normas éticas destinadas à pesquisa envolvendo seres humanos, da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde. Atesto recebimento de uma cópia assinada deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Pelotas, _____ de _____ de 2022.

Assinatura pesquisador responsável

Assinatura participante

Pesquisador responsável: Vinicius Kruger da Costa +55 53 99135 5942 viniciusdacosta@gmail.com

Projeto registrado no Conselho de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) sob título MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS com Nº CAAE: 60509522.7.0000.5317

APÊNDICE D ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA COM ESPECIALISTAS SOBRE O DESIGN DE INTERAÇÃO PARA APLICATIVOS EM MESAS TANGÍVEIS.



Universidade Federal de Pelotas

Programa de Pós-graduação em Computação

Entrevista semiestruturada sobre o Design de Interação para aplicativos em mesas tangíveis.

Perguntas iniciais:

Qual seu nome completo?

Autoriza a gravação da entrevista e já assinou o Termo de Consentimento Livre Esclarecido?

Qual a sua formação?

Qual a sua ocupação atual?

Quanto tempo de experiência na sua área de formação? E relacionado especificamente com Design de Interação?

Perguntas sobre a mesa tangível:

Quanto tempo de experiência no uso de mesas tangíveis?

Já projetou alguma aplicação para esse dispositivo?

Poderia identificar que método usou para projetar ou etapas gerais?

Quais foram as dificuldades encontradas nesse processo?

Acredita que é um processo similar com o de projetar uma interface gráfica? Por quê?

Quais são as principais diferenças em relação a interface gráfica que você identifica no uso desse tipo de interação?

Você identifica benefícios no uso da interação tangível numa mesa? Quais?

Quais as limitações ou pontos críticos que acredita que devem ser observados no design de interação para uma mesa tangível?

Como visualiza o uso desse dispositivo no cotidiano das pessoas?

Pesquisador responsável: Vinicius Kruger da Costa +55 53 99135 5942 viniciusdacosta@gmail.com

Projeto registrado no Conselho de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) sob título MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS com N° CAAE: 60509522.7.0000.5317

APÊNDICE E QUESTIONÁRIO DE SISTEMA DE ESCALA DE USABILIDADE (SUS)

Escala SUS

1. Eu acho que gostaria de usar essa interação com frequência

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

2. Eu acho essa interação desnecessariamente complexa.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

3. Eu achei a interação bem fácil de usar.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar esse tipo de interação.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

5. Eu acho que as várias funções dessa interação estão muito bem integradas.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

6. Eu acho que essa interação apresenta muita inconsistência.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar essa interação rapidamente.*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

8. Eu achei essa interação bem atrapalhada de usar.*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

9. Eu me senti confiante ao usar essa interação*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar essa interação.*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Concordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Discordo totalmente

Powered by



APÊNDICE F QUESTIONÁRIO EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO - ATTRACKDIFF

Questionário Attrackdiff

***Obrigatório**

Experiência
do Usuário
(UX)

Preencha a escala de valores de acordo com a percepção que teve da experiência de uso, por exemplo, se achou que a experiência é mais humana ou mais tecnológica, etc. Algumas palavras podem gerar certa confusão mas debes basear o preenchimento com base na tua experiência prévia.

1. Humano - Tecnológico *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Humano	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tecnológico

2. Isola - Conecta *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Isola	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Conecta

3. Agradável-Desagradável *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Agradável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Desagradável

4. Inventivo - Tradicional *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Inventivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tradicional

5. Simples - Complicado *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Simples	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Complicado

6. Profissional- Não profissional *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Profissional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não profissional

7. Feio-Atrativo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Feio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Atrativo

8. Prático - Não prático *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Prático	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não prático

9. Prazeroso - Desagradável *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Prazeroso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Desagradável

10. Complexo - Objetivo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Complexo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Objetivo

11. Estiloso - Brega *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Estiloso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Brega

12. Previsível - Imprevisível *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Previsível	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Imprevisível

13. Barato - Caro *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Barato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Caro

14. Me aproxima da tecnologia - Não me aproxima da tecnologia *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Me aproxima da tecnologia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Não me aproxima da tecnologia

15. Me aproxima das pessoas - Me distancia das pessoas *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Me aproxima das pessoas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Me distancia das pessoas

16. Não apresentável - Apresentável *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Não apresentável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Apresentável

17. Rejeitável - Convidativo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Rejeitável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Convidativo

18. Sem imaginação - Criativo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Sem imaginação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Criativo

19. Bom - Ruim *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Bom	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ruim

20. Confuso - Claramente estruturado *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Confuso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Claramente estruturado

21. Repulsivo - Atraente *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Repulsivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Atraente

22. Arrojado - Cauteloso *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Arrojado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Cauteloso

23. Inovador - Conservador *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Inovador	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Conservador

24. Chato - Cativante *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Chato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Cativante

25. Pouco exigente - Desafiador *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pouco exigente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	desafiador

26. Motivante - Desencorajador *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Motivante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Desencorajador

27. Novo - Comum *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Novo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Comum

28. Indisciplinado - Manejável *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Indisciplinado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Manejável

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE G ROTEIRO GRUPO FOCAL DE EXPERIMENTAÇÃO DA MESA TANGÍVEL



Universidade Federal de Pelotas

Programa de Pós-graduação em Computação

Roteiro desenvolvimento de Grupo Focal sobre novas formas de interação – Interação Tangível

1 – Apresentação inicial (10 min): Preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Breve explicação do funcionamento do *input/output* de dados com interação tangível, o que é uma mesa interativa tangível, contexto geral da pesquisa bem como delimitação e declaração de objetivo do Grupo Focal.

Objetivo geral do Grupo Focal: **Apresentar o que é interação tangível e seu funcionamento em uma mesa tangível interativa para investigar como usuários de diferentes perfis e níveis de uso de ferramentas computacionais se relacionam com ela.**

Perguntas norteadoras iniciais:

O que o trouxe a se inscrever nessa dinâmica? Quais teus interesses?

Alguém aqui sabe o que é uma interação tangível? E uma mesa tangível interativa?

Já mexeram em algum dispositivo similar a esse? Como se sentiram?

2 – Experimentação da mesa tangível interativa (20 a 30 min): Será disponibilizado uma aplicação básica que irá possibilitar interação por *tokens*, permitindo que os voluntários interajam do jeito que acharem mais interessante. Será estimulado que verbalizem todas suas inquietações e ideias gerais de possibilidades que enxergam nesse dispositivo se aplicado em outros contextos. Como a aplicação será básica e autoexplicativa não será dada nenhuma orientação geral acerca do uso.

O objetivo nessa etapa é que os voluntários interajam entre si e com a mesa e os tokens. Será observado o modo como interagem com a mesa, que tipos de interações eles podem vir a tentar executar.

Ao final dessa etapa será estimulada uma discussão final sobre como foi a experiência do uso com esse dispositivo e forma de interação.

Perguntas norteadoras:

Como acham que deve ser usado esse dispositivo?

O que acreditam que é possível de implementar num dispositivo como esse?

Que tipo de problema poderia ser solucionado na sua área com esse tipo de interação?

3 – Fechamento Grupo Focal (10 a 15 min): Agradecimento e entrega de brinde pela participação no Grupo Focal. Será solicitado que preencham um questionário impresso de forma anônima com a Escala SUS e o Attrackdiff.

APÊNDICE H PROTOCOLO DE OBSERVAÇÕES MESA TANGÍVEL NO MUSEU DO DOCE



Universidade Federal de Pelotas

Programa de Pós Graduação em Computação

Roteiro observação para uso da mesa tangível no Museu do Doce

Objetivo geral da observação: **Analisar o uso da mesa tangível e a sua aplicação**
AtuaAlegoria na exposição da obra “Alegoria, Sentimento e Espírito da Revolução Farroupilha”.

Quantas pessoas entram na sala e quantas delas de fato interagem com a mesa tangível ? Quantidades absolutas, se possível coletar idade.

Tempo que as pessoas ficam na sala interagindo com a mesa tangível? Tempo estimado aproximado, não precisa cronometrar.

Como foi a primeira reação a interação com a mesa tangível? Primeiro levou a mão e tentou usar o touch, leu as instruções, etc

Questões abertas a serem questionadas aos visitantes que buscarem interagir com os especialistas que estão observando

O que motivou a pessoa a mexer na mesa?

Já mexeu em algum dispositivo similar a esse? Como se sentiram?

O que achou da altura da mesa? O som ficou adequado? Luminosidade está de acordo? Tokens estão de acordo?

Como acham que pode ser usado esse dispositivo?

Aplicar TCLE aos que forem responder a Escala SUS.

APÊNDICE I TESTES ESTATÍSTICOS T-STUDENT E ANOVA APLICADOS NOS VALORES DE ESCALA SUS

Resultados múltiplos testes T Student para Escalas SUS

T-Test Grupos 1 e 2

Independent Samples T-Test

		Statistic	df	p
Valores Escala SUS G1 - G2	Student's t	-1.68	27.0	0.105

Group Descriptives

	Group	N	Mean	Median	SD	SE
Valores Escala SUS G1 - G2	grupo 1	17	75.9	80.0	13.1	3.19
	grupo 2	12	83.5	86.3	10.5	3.02

T-Test Grupos 2 e 3

Independent Samples T-Test

		Statistic	df	p
Valores Escala SUS G2 - G3	Student's t	0.181	22.0	0.858

Group Descriptives

	Group	N	Mean	Median	SD	SE
Valores Escala SUS G2 - G3	grupo 2	12	83.5	86.3	10.5	3.02
	grupo 3	12	82.9	85.0	5.82	1.68

T-Test Grupos 1 e 3

Independent Samples T-Test

		Statistic	df	p
Valores Escala SUS G1 - G3	Student's t	-1.73 ^a	27.0	0.095

^a Levene's test is significant (p < .05), suggesting a violation of the assumption of equal variances

Group Descriptives

	Group	N	Mean	Median	SD	SE
Valores Escala SUS G1 - G3	grupo 1	17	75.9	80.0	13.1	3.19
	grupo 3	12	82.9	85.0	5.82	1.68

Resultados teste ANOVA

One-Way ANOVA

One-Way ANOVA (Welch's)

	F	df1	df2	p
Escala SUS	2.05	2	23.4	0.151

Group Descriptives

	Grupos	N	Mean	SD	SE
Escala SUS	grupo 1	17	75.9	13.14	3.19
	grupo 2	12	83.5	10.47	3.02
	grupo 3	12	82.9	5.82	1.68

Dados descritivos

Descriptives

	Grupos	Escala SUS
N	grupo 1	17
	grupo 2	12
	grupo 3	12
Mean	grupo 1	75.9
	grupo 2	83.5
	grupo 3	82.9
Median	grupo 1	80.0
	grupo 2	86.3
	grupo 3	85.0
Standard deviation	grupo 1	13.1
	grupo 2	10.5
	grupo 3	5.82
Minimum	grupo 1	55.0
	grupo 2	57.5
	grupo 3	70.0
Maximum	grupo 1	92.5
	grupo 2	95.0
	grupo 3	92.5

APÊNDICE J ROTEIRO DO EXPERIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESIGN DE INTERAÇÃO COM A MESA TANGÍVEL.



Universidade Federal de Pelotas

Programa de Pós-graduação em Computação

Roteiro desenvolvimento de Experimento para Avaliação de características de design de interação com a mesa tangível.

1 – Convite inicial (5 min): Preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e explicação do objetivo geral do experimento para o grupo de 4 usuários

Objetivo geral do experimento: **conferir base científica à prática na construção das orientações que compõem o framework DIMETA por meio da análise das características de interação com a mesa tangível.**

2 – Experimentação da mesa tangível interativa (10 min): Será disponibilizado uma aplicação introdutória inicial que irá possibilitar interação por *tokens*, permitindo que os voluntários interajam do jeito que acharem mais interessante. Será estimulado que verbalizem todas suas inquietações e ideias gerais de possibilidades que enxergam nesse dispositivo se aplicado em outros contextos. Como a aplicação será básica e autoexplicativa não será dada nenhuma orientação geral acerca do uso.

O objetivo nessa etapa é que os voluntários interajam entre si e com a mesa e os tokens diversos. Será observado o modo como interagem com a mesa, que tipos de interações eles podem vir a tentar executar.

3 – Teste de usabilidade focado em tarefas (10 min): Utilização da mesa tangível pelo grupo de 4 usuários com utilização de uma aplicação focada na resolução de tarefas que tem por objetivo analisar um conjunto de características de interação com a mesa tangível através de métricas quantitativas como o tempo.

4 – Preenchimento questionário (10 min): Além do teste de usabilidade anterior, os participantes serão convidados a preencherem um questionário opcional que reflete sobre uma série das características gerais de interação com a mesa tangível e a percepção que os usuários têm acerca das mesmas.

4 – Encerramento (5 min): Após finalização das tarefas e preenchimento do questionário irá se ouvir os participantes, agradecendo-os pela contribuição e com a entrega de um brinde.

**APÊNDICE K QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CARAC-
TERÍSTICAS DE DESIGN DE INTERAÇÃO COM A MESA TAN-
GÍVEL.**

Análise experiência de uso da mesa tangível

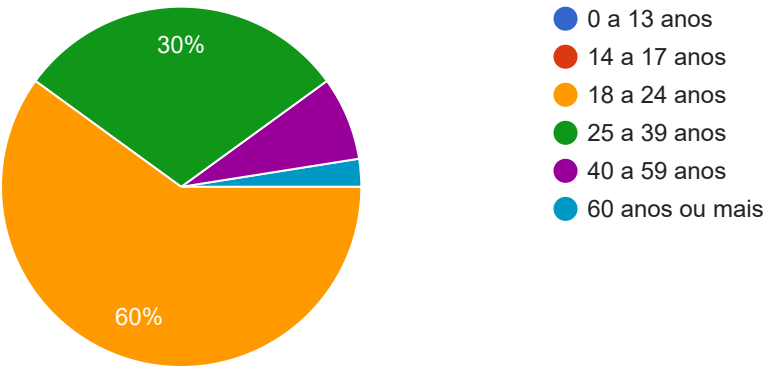
40 respostas

Publicar análise

Idade

40 respostas

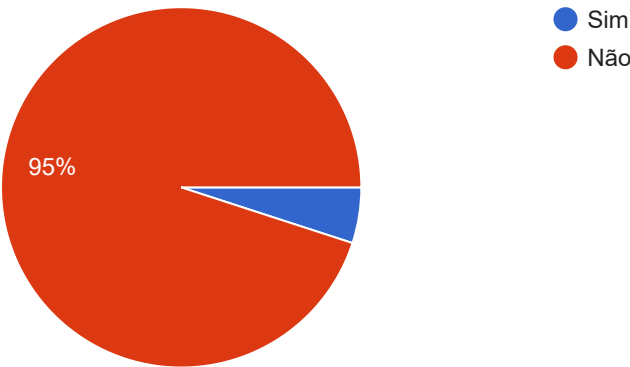
Copiar



Tenho alguma deficiência?

40 respostas

Copiar



Se possui deficiência, qual?

2 respostas

visão monocular

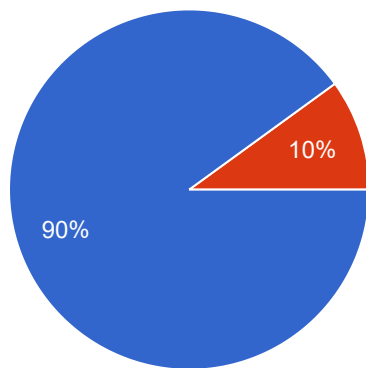
Baixa visão em um olho (10%)



Qual sua mão "dominante"?

 Copiar

40 respostas

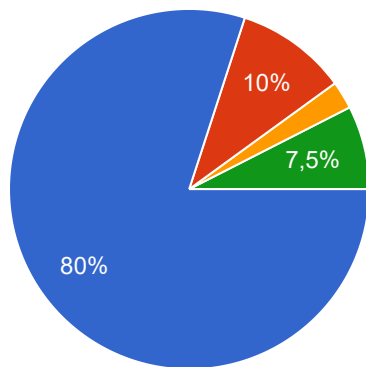


- Direita (sou destro)
- Esquerda (sou canhoto)
- Ambas
- Não sei definir
- Outro

Faz uso do computador?

 Copiar

40 respostas

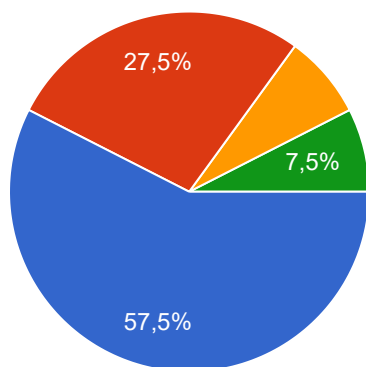


- Diariamente (muitas horas por dia)
- Uma vez ao dia
- Algumas vezes por semana
- Uso ocasionalmente

Já utiliza alguma forma de interação não convencional (como interação por voz, gestos, etc)?

 Copiar

40 respostas



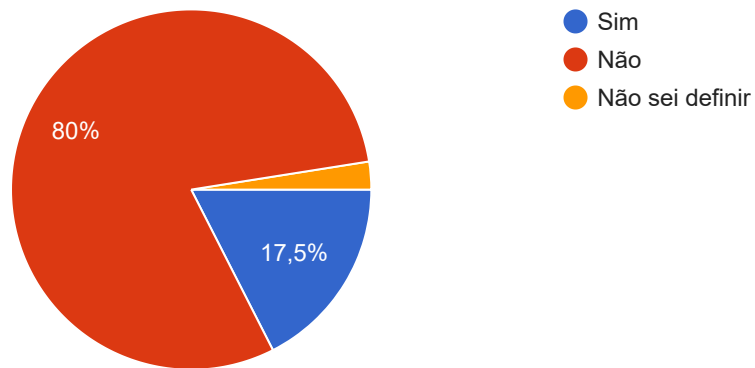
- Um vez pelo menos
- Utilizo regularmente
- Nunca utilizei
- Não tenho certeza se já utilizei ou não



Já utilizou anteriormente alguma mesa tangível?

 Copiar

40 respostas

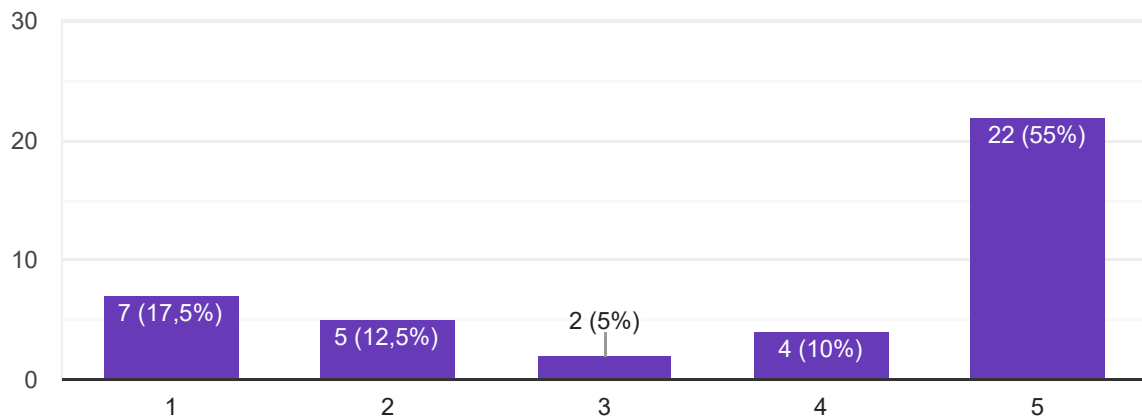


Tokens e a física intuitiva

A cor do *token* influencia o uso da mesa tangível.

 Copiar

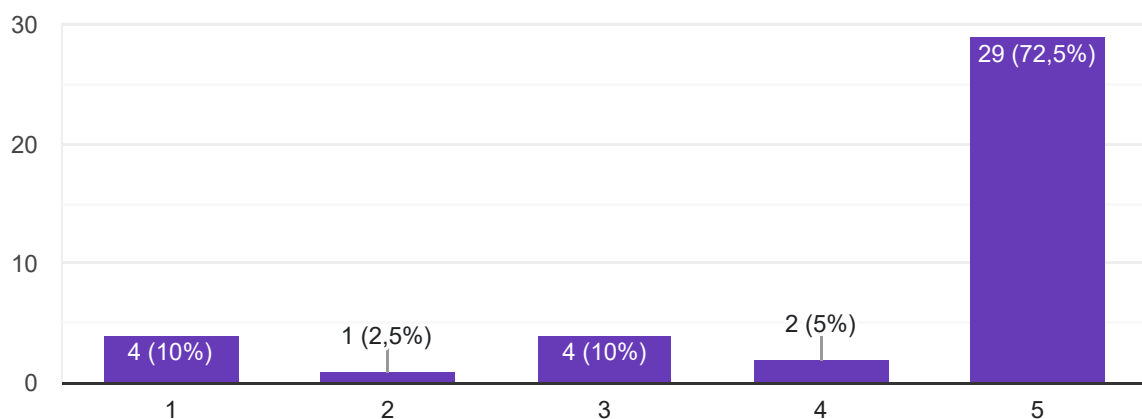
40 respostas



Os *tokens* devem ficar ao redor da mesa tangível antes de serem usados na interação.

 Copiar

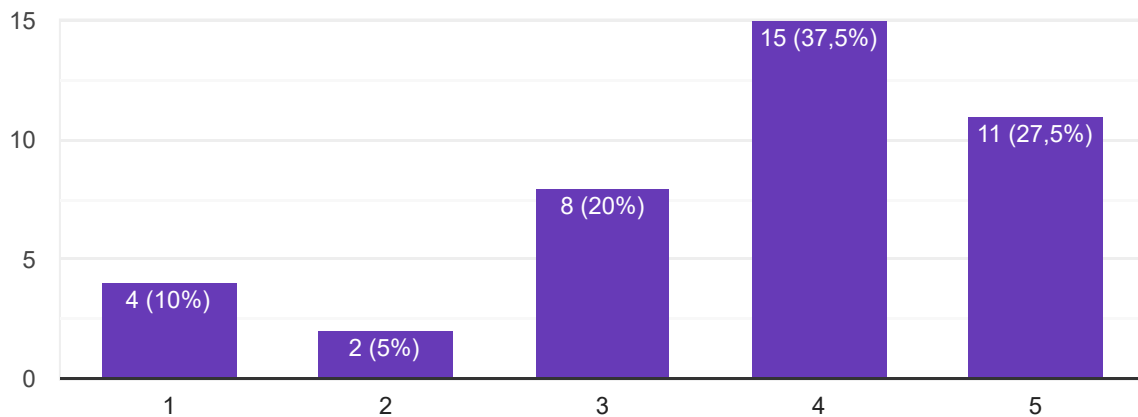
40 respostas



Tokens com textura mais agradável seriam manipulados antes dos que não tem textura.

 Copiar

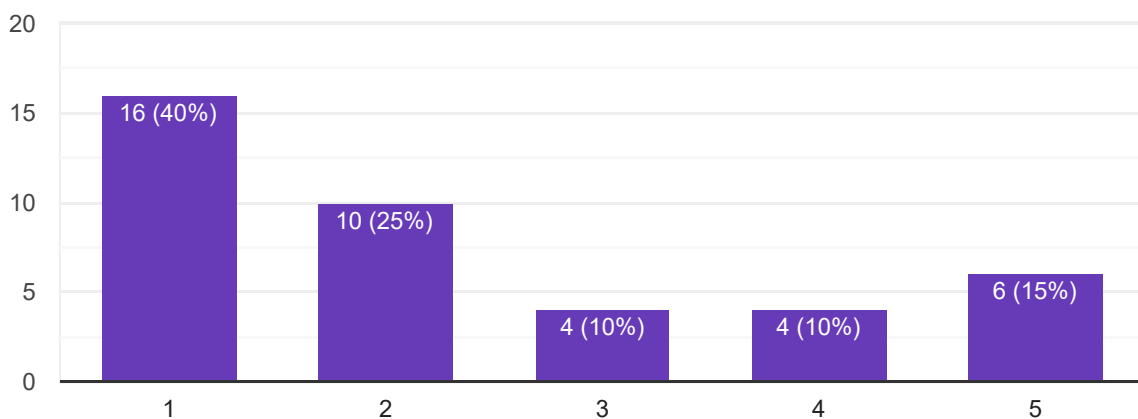
40 respostas



Tamanho do *token* não tem relevância nenhuma para a experiência com a mesa tangível.

 Copiar

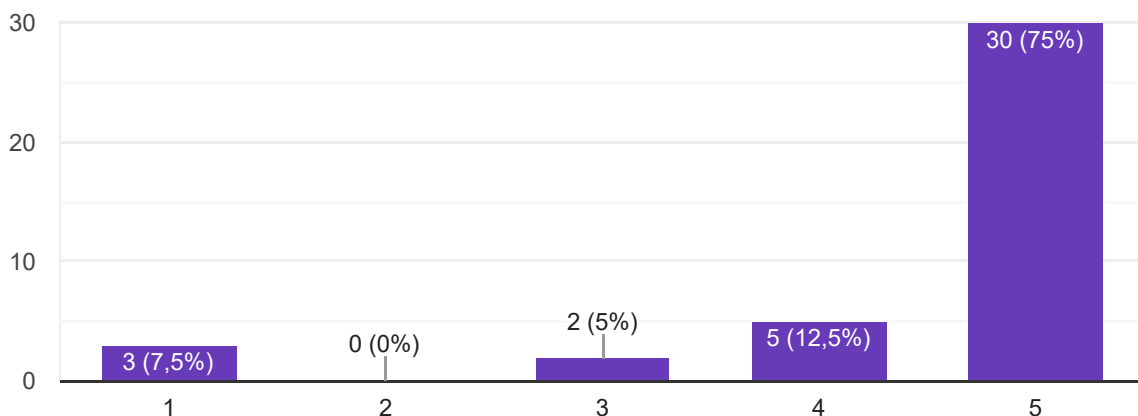
40 respostas



Instruções de áudio e texto me ajudariam no uso da mesa tangível.

 Copiar

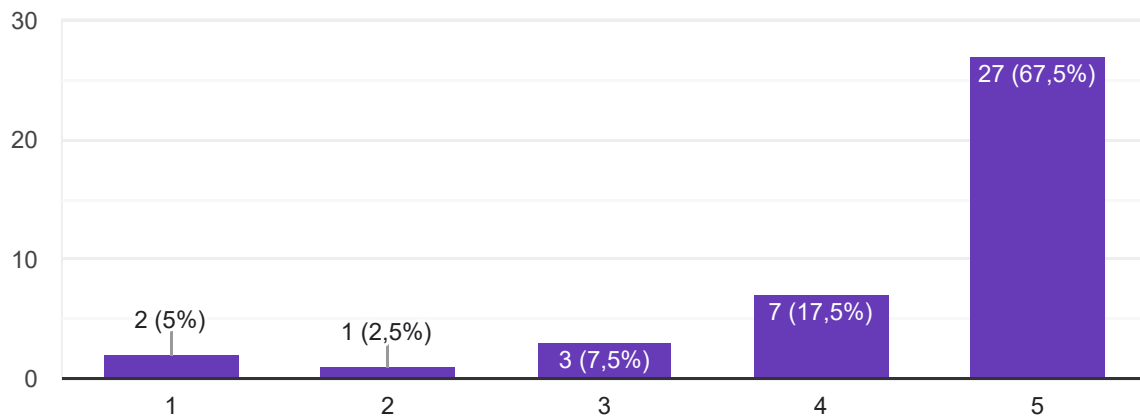
40 respostas



A forma do *token* deve dar alguma dica de que tipo de ação pode ser feita com ele.

 Copiar

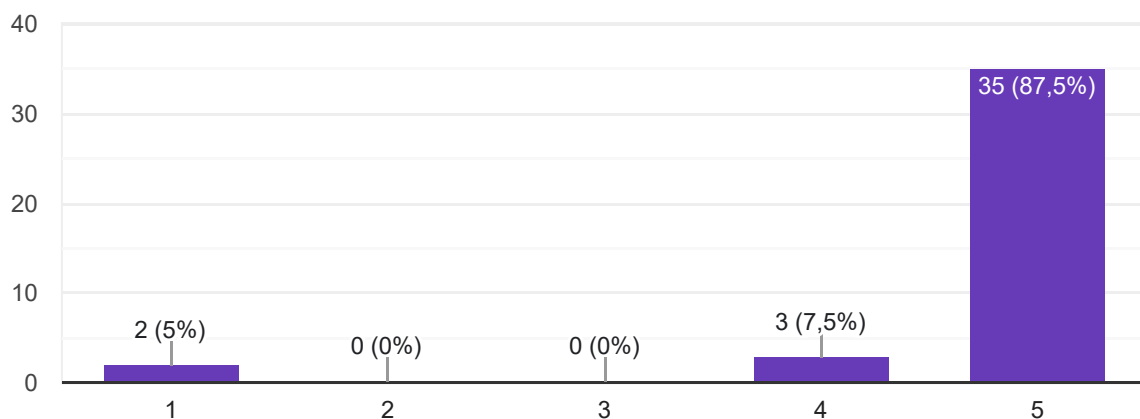
40 respostas



Os *tokens* ficarem próximos a mim facilita a interação.

 Copiar

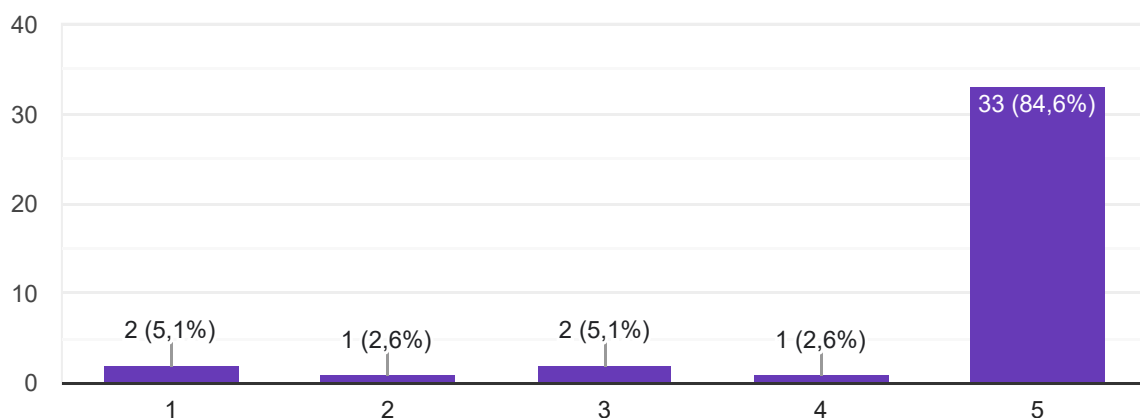
40 respostas



O *token* ter um formato que facilite o ato de "pegar com as mãos" ajuda no processo de interação

 Copiar

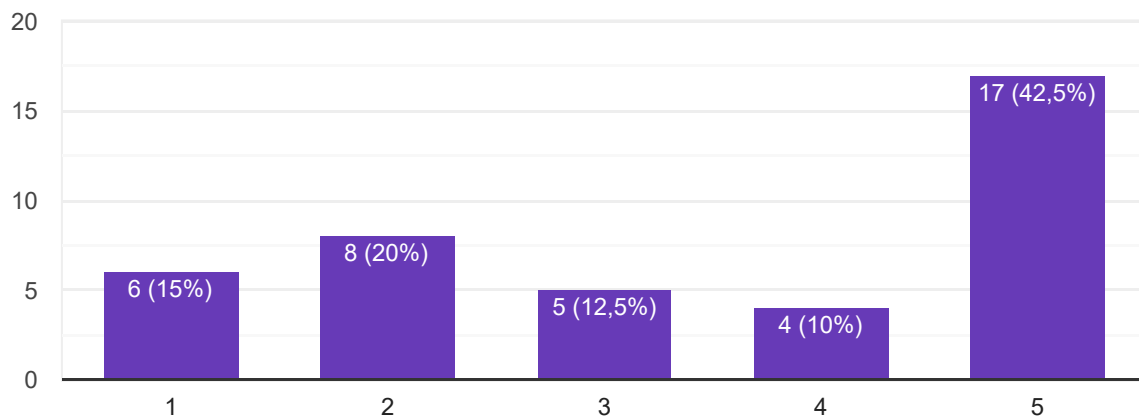
39 respostas



Qualquer objeto pode ser um *token* para qualquer tipo de aplicação.

 Copiar

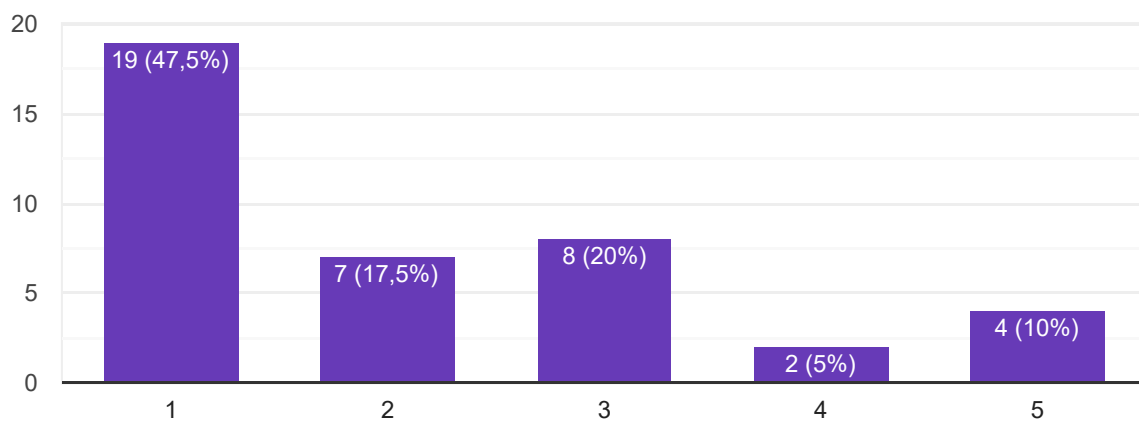
40 respostas



Textura e cor dos *tokens* não influenciam na experiência de uso da mesa tangível.

 Copiar

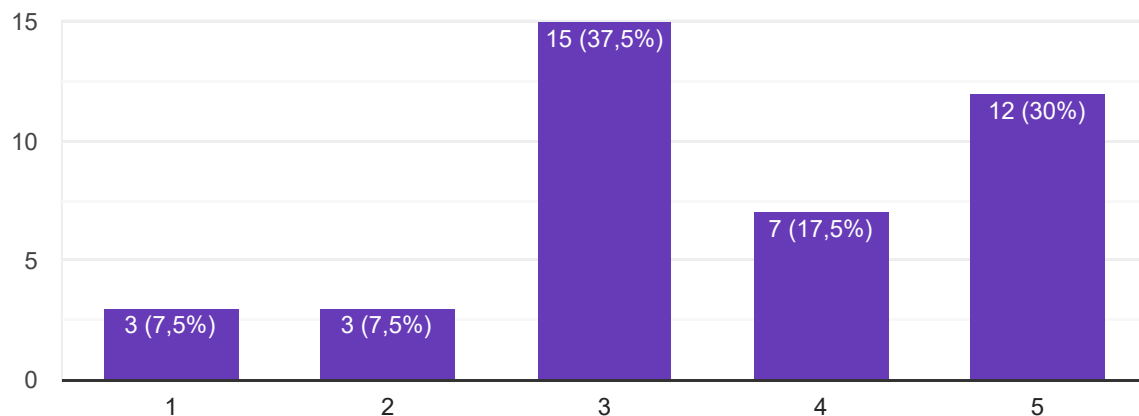
40 respostas



Quanto mais *tokens* disponíveis melhor

 Copiar

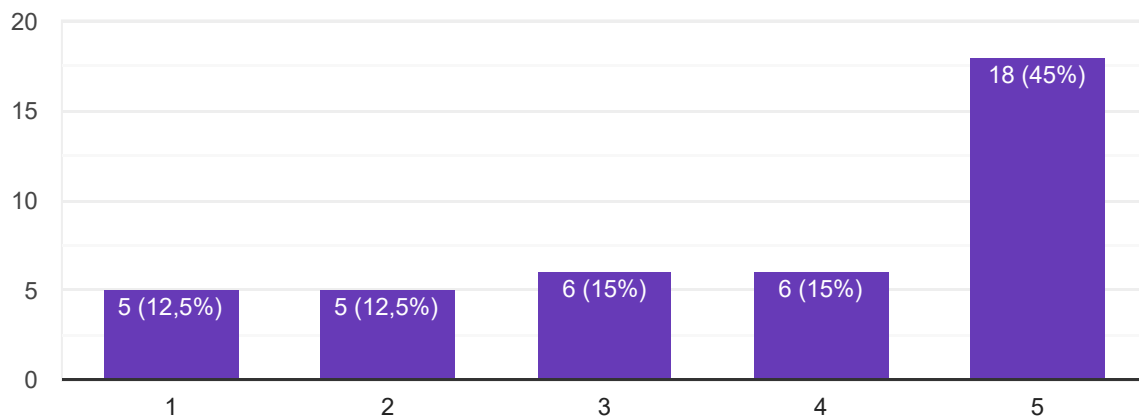
40 respostas



O *token* pode ter qualquer formato.

 Copiar

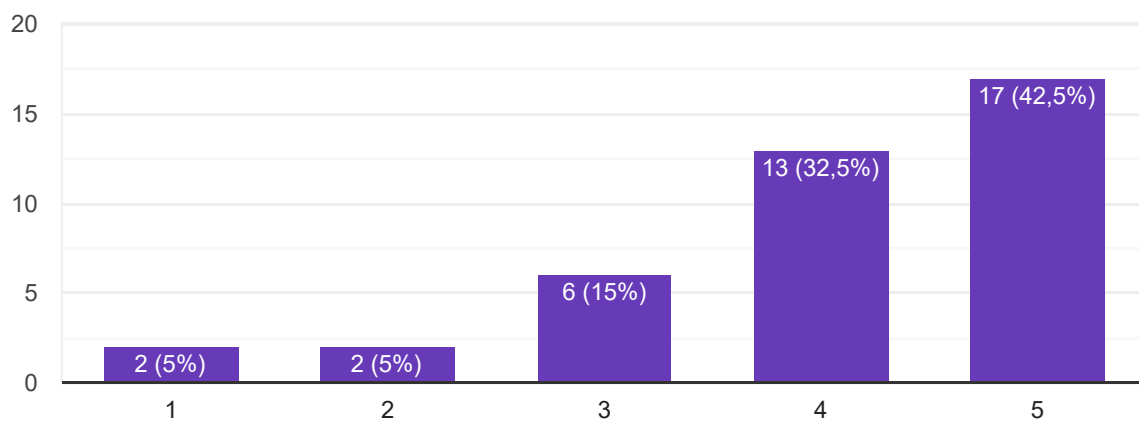
40 respostas



Eu entendi perfeitamente o que deveria ser feito com cada *token* em todos os momentos da avaliação.

 Copiar

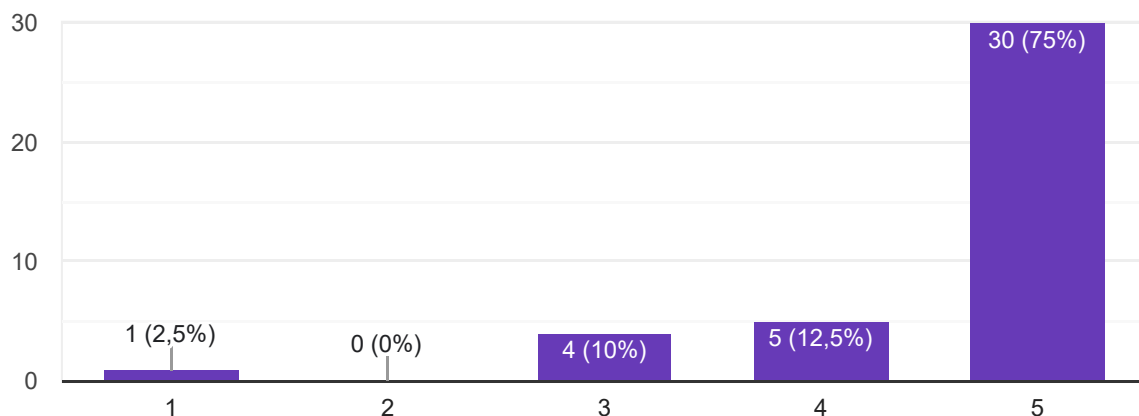
40 respostas



Ao colocar o *token* no tampo da mesa a reação dela a essa ação me ajudou a efetuar as próximas ações.

 Copiar

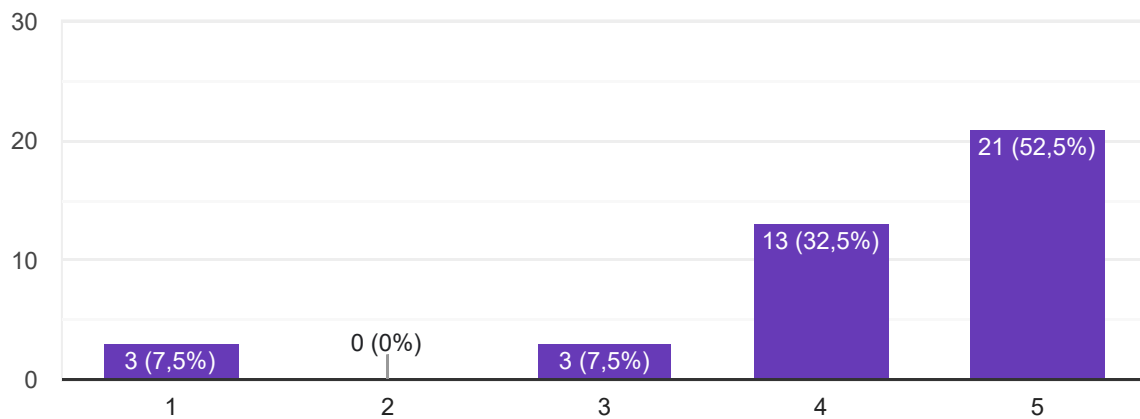
40 respostas



O objeto que é o *token* influencia no uso que fazemos dele na interação.

 Copiar

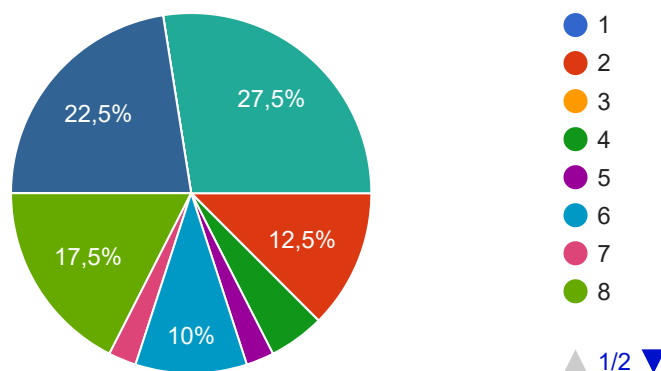
40 respostas



Qual a quantidade ideal de *tokens*

 Copiar

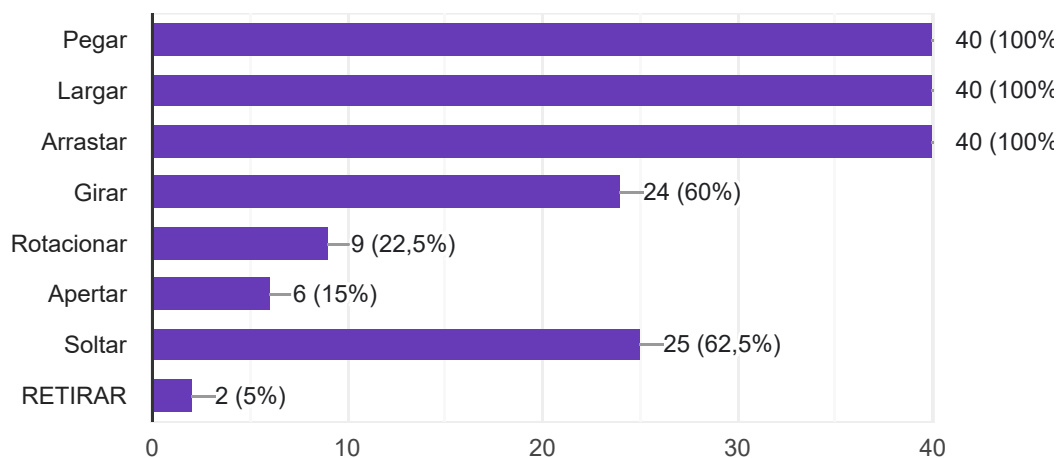
40 respostas



Movimentos que eu utilizei no uso da mesa tangível em relação aos *tokens*

 Copiar

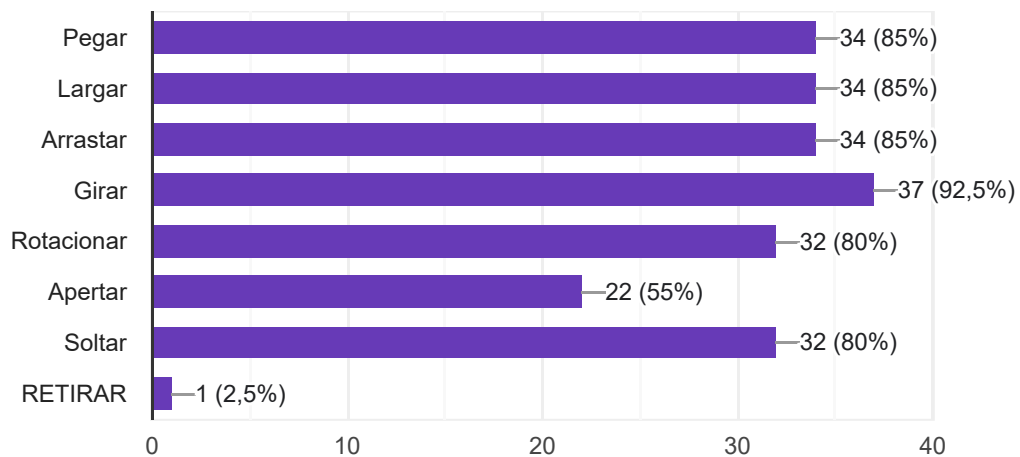
40 respostas



Movimentos que acredito serem possíveis de se fazer com um token.

 Copiar

40 respostas

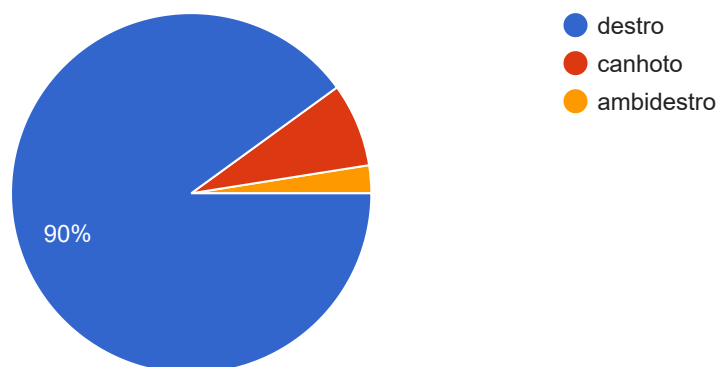


Consciência corporal e social

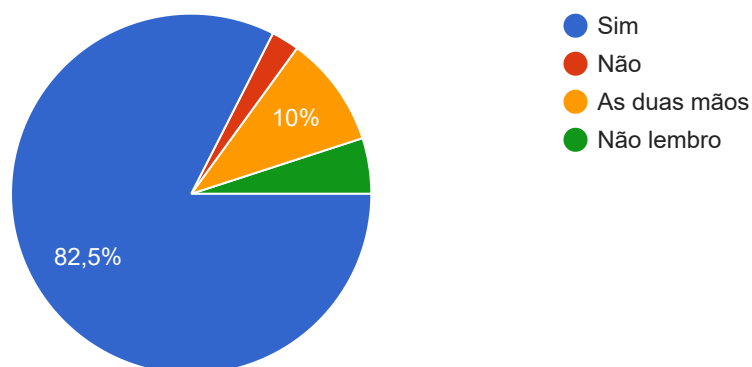
Mão dominante

 Copiar

40 respostas

Ao pegar o primeiro *token* utilizou a mão dominante Copiar

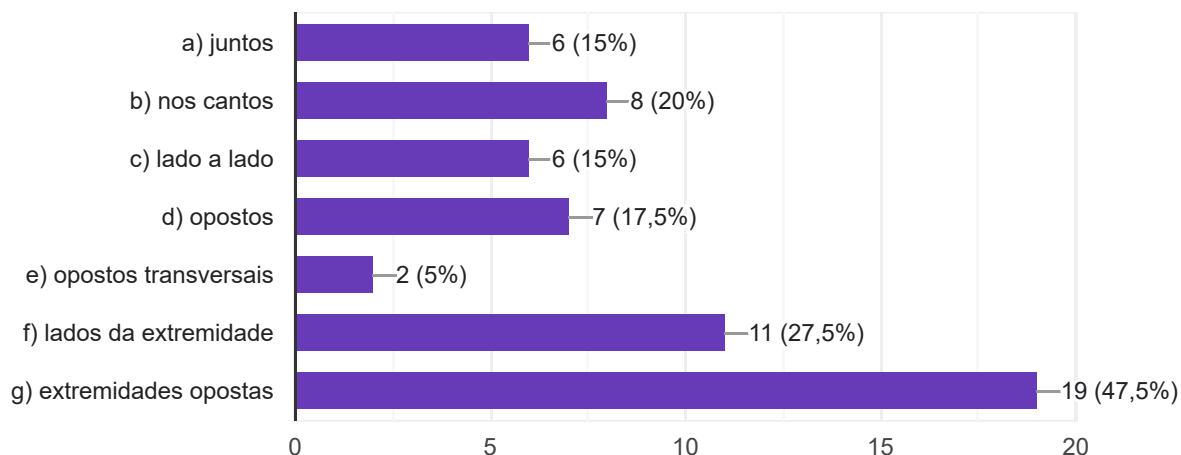
40 respostas



Como acredita que o grupo se organizou de modo geral ao redor da mesa tangível

 Copiar

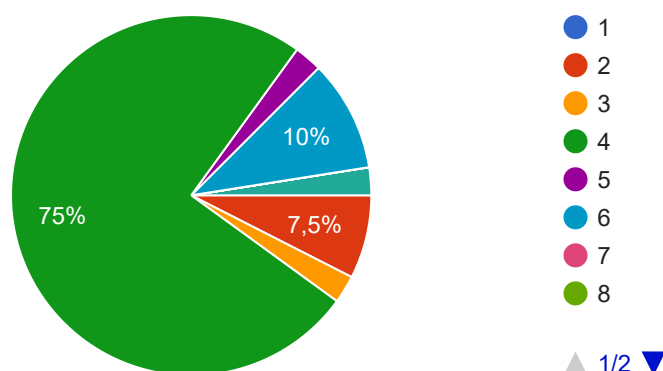
40 respostas



Qual a quantidade ideal de pessoas para interagir ao mesmo tempo com a mesa tangível?

 Copiar

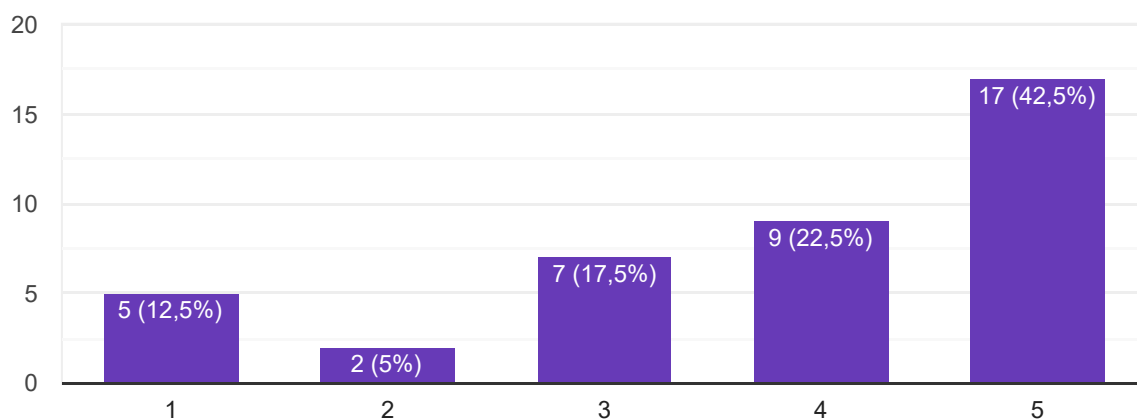
40 respostas



Comprimento de braços, tamanho das mãos pode influenciar a experiência de uso da mesa tangível.

 Copiar

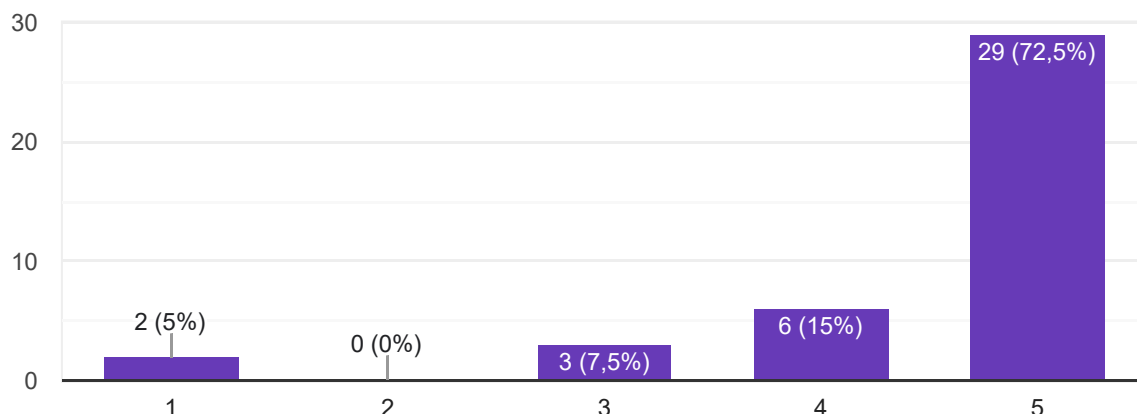
40 respostas



Normalmente, minha primeira interação com o *token* na mesa tangível será feita com a mão dominante.

 Copiar

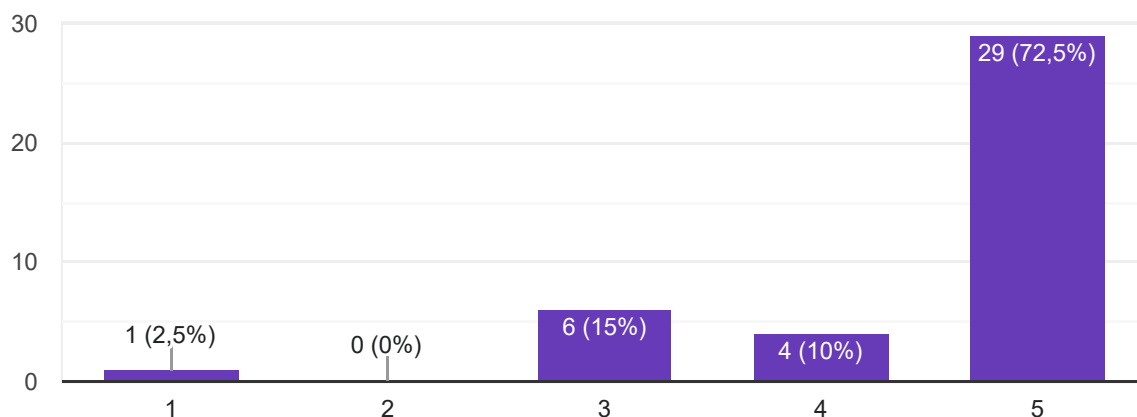
40 respostas



Consegui entender qual era minha área de interação e qual era a área comum durante a atividade.

 Copiar

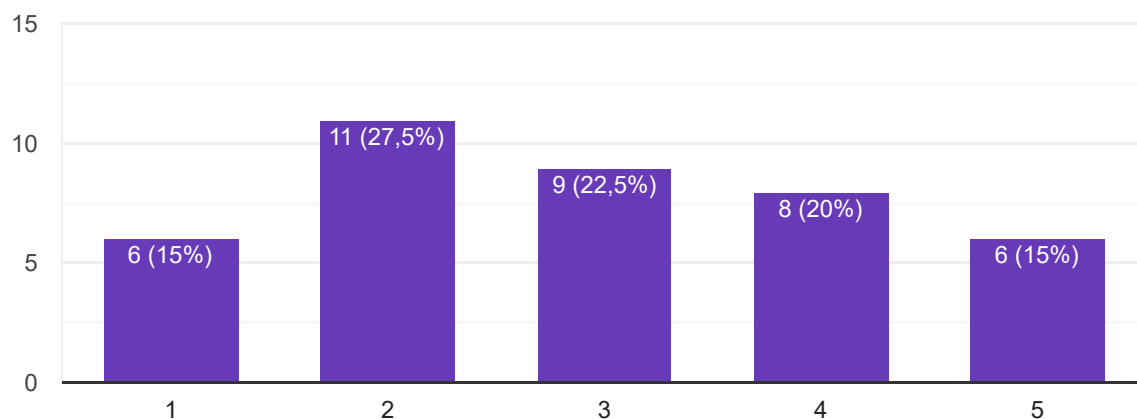
40 respostas



Braços de diferentes pessoas cruzando sobre a mesa tangível para manipular os *tokens* não atrapalha seu uso.

 Copiar

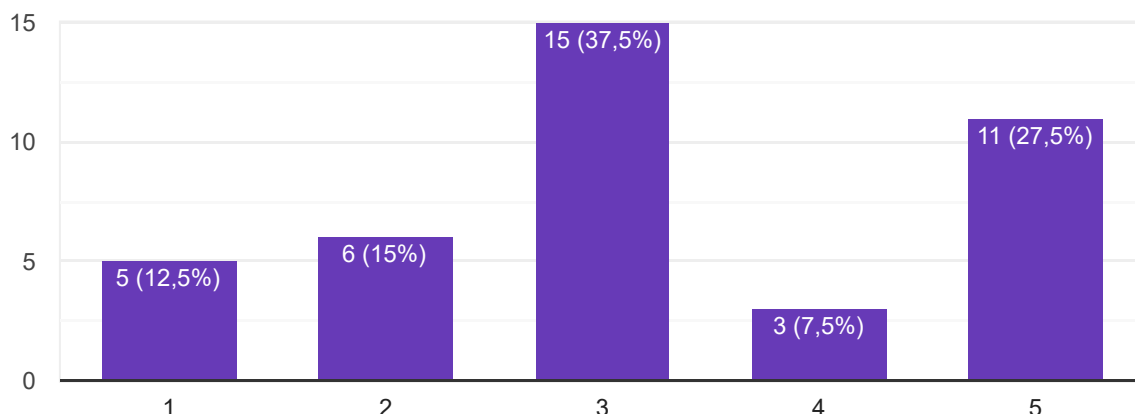
40 respostas



Conseguir deduzir sem nenhuma explicação que era só largar o token sobre a mesa para interagir com ela.

 Copiar

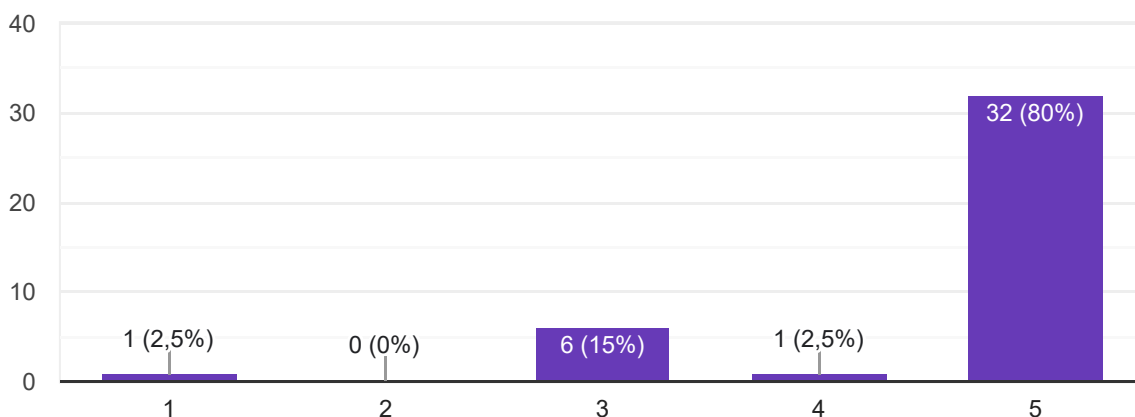
40 respostas



Utilizar as duas mãos para fazer uma ação aumenta minha produtividade no uso com a mesa tangível.

 Copiar

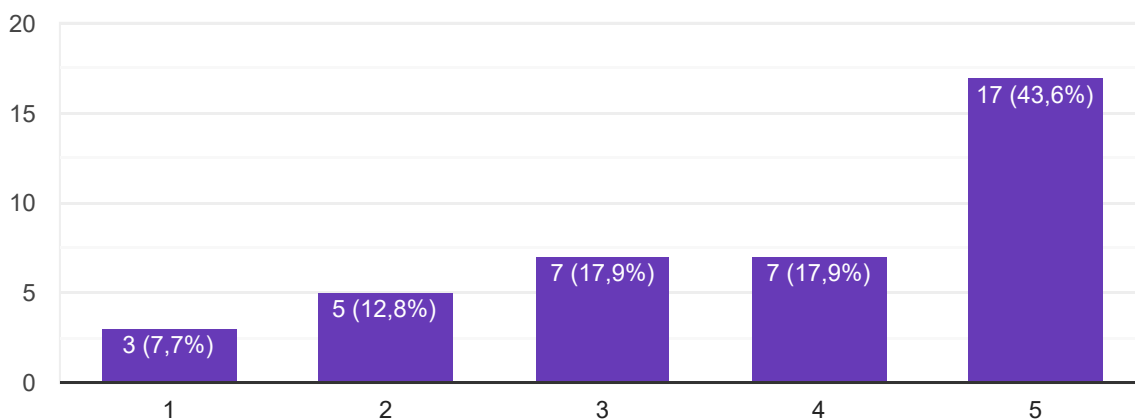
40 respostas



Os textos, imagens que são apresentados sobre a mesa podem ficar em qualquer lugar ou orientação no tampo da mesa.

 Copiar

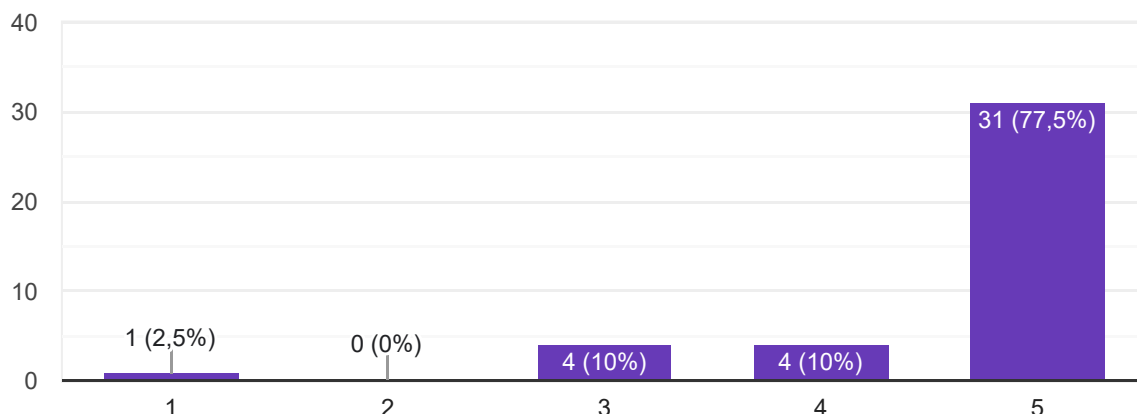
39 respostas



Com as instruções de áudio e texto consegui entender melhor o que deveria ser feito.



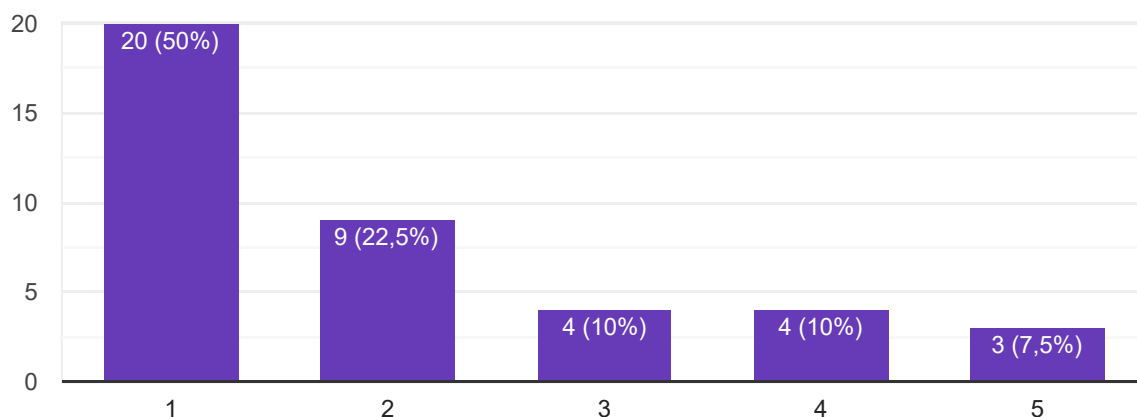
40 respostas



Tive dificuldade de entender quem estava no comando da ação nas atividades com o uso na mesa tangível.



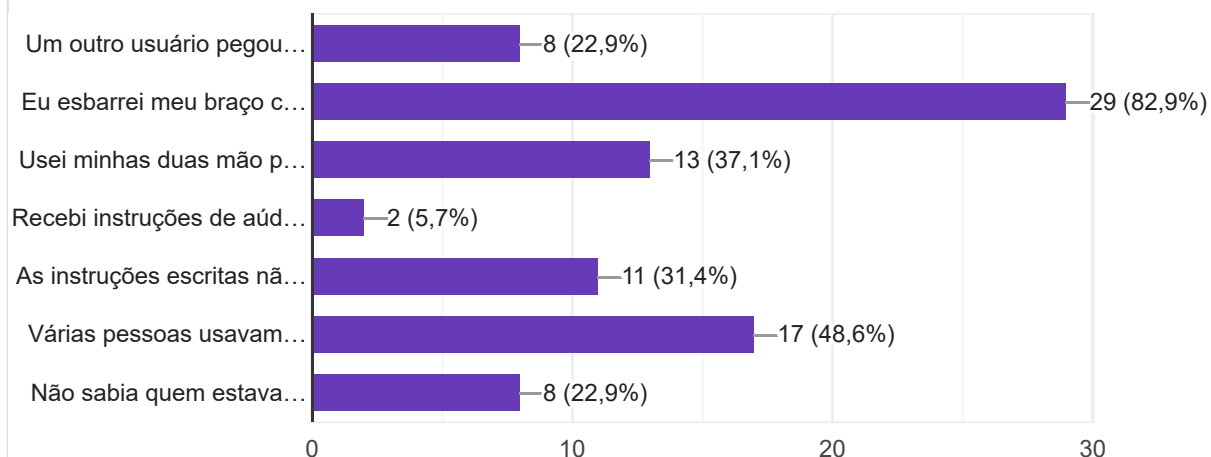
40 respostas



Situações que aconteceram durante a interação com a mesa e que podem atrapalhar o seu uso.



35 respostas

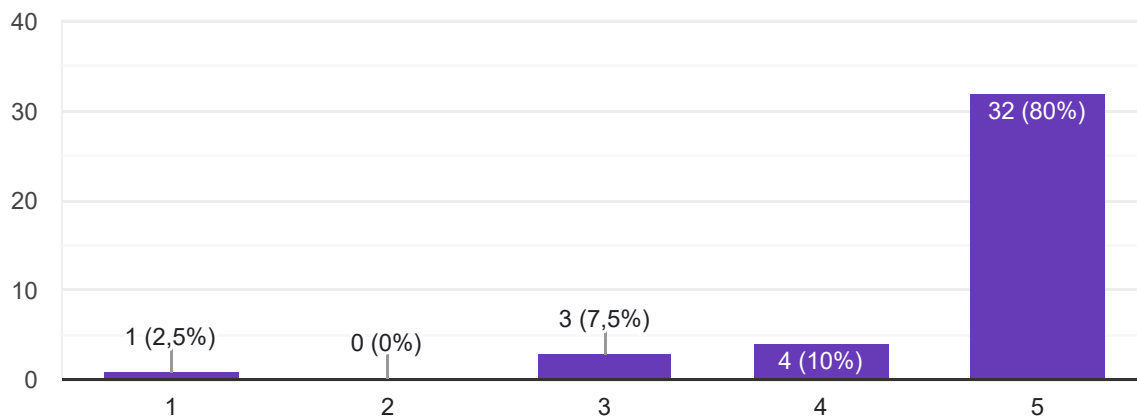


Fatores ambientais

Ter um espaço adequado ao redor da mesa tangível torna a interação mais convidativa.

 Copiar

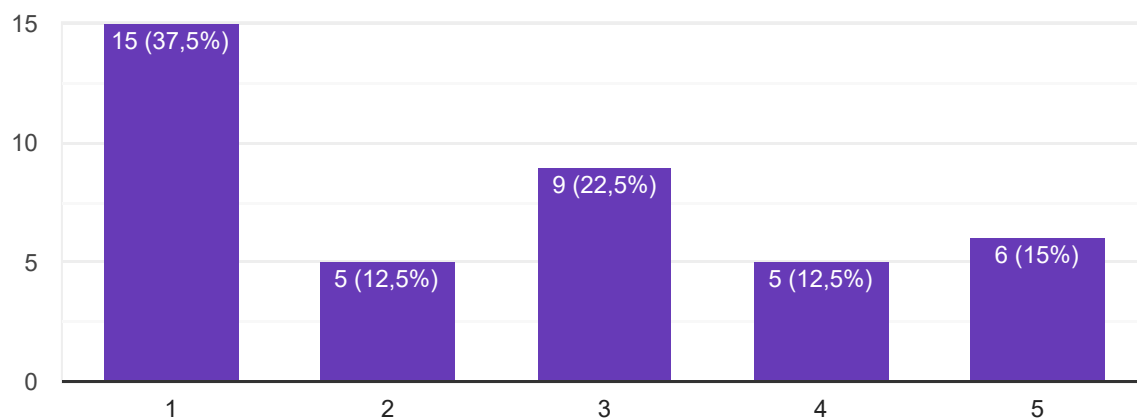
40 respostas



Planejar o espaço onde está inserida em conjunto com as aplicações da mesa tangível não influencia em nada.

 Copiar

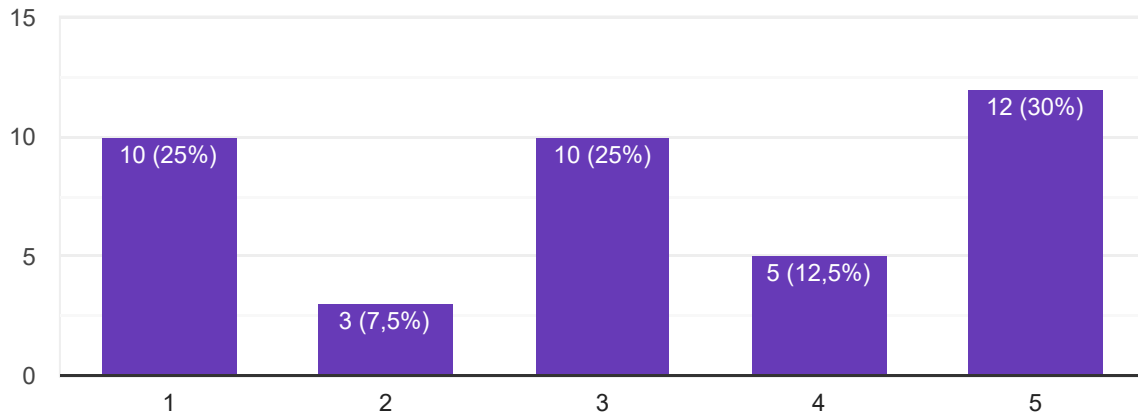
40 respostas



Pouca iluminação pode atrapalhar a experiência de uso da mesa tangível.

 Copiar

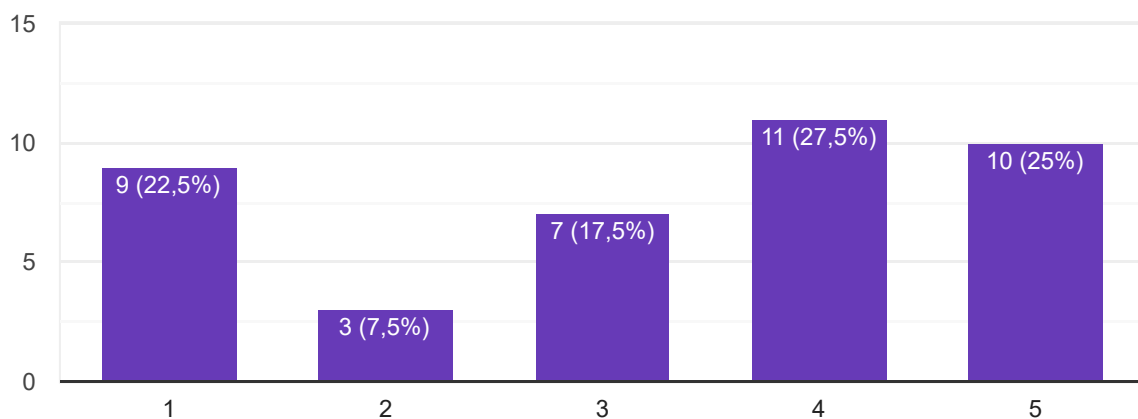
40 respostas



Som ambiente muito alto ao redor pode confundir a interação com a mesa tangível.

 Copiar

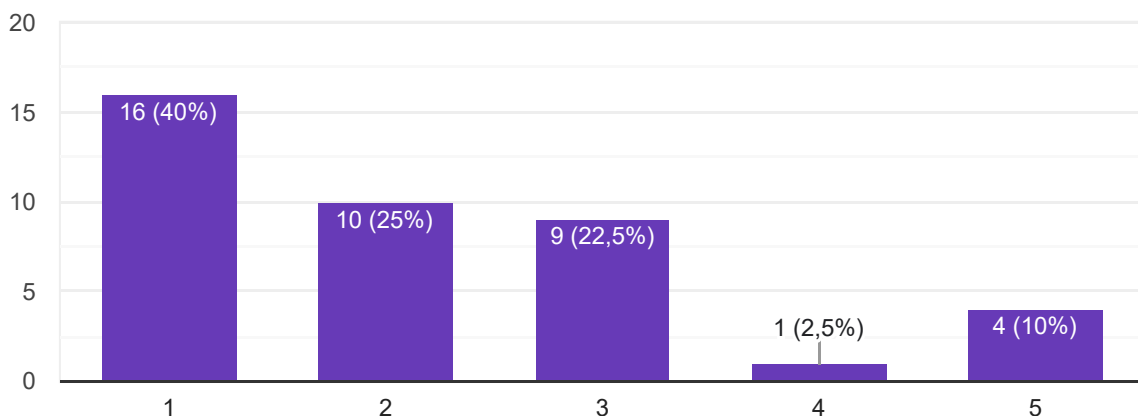
40 respostas



Altura da mesa tangível pouco importa para interação com ela.

 Copiar

40 respostas



Espaço livre para dar sua opinião. Muito obrigado!

7 respostas

Mesa maior e textos virados para todos os lados.

A borda da mesa pode ser maior para acomodar os objetos.

Definitivamente uma experiência divertida.

Labirinto deve ser legal essa mesa.

Gostei muito da mesa, dá pra se entreter e se divertir bastante com ela. Experiência muito boa.

Adorei a experiência.

Qualidade das imagens e dos objetos poderia ser melhor.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários





APÊNDICE L TESTES ESTATÍSTICOS SOBRE QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE DESIGN DE INTERAÇÃO COM A MESA TANGÍVEL

Análise estatística Questionário de Avaliação de características de design de interação com a mesa tangível

Escala confiabilidade

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α

scale	0.844
-------	-------

Item Reliability Statistics

	Mean	SD	If item dropped	
			Cronbach's α	
TOK 01	3.68	1.662	0.835	A cor do token influencia o uso da mesa tangível.
TOK 02	4.26	1.369	0.834	Os tokens devem ficar ao redor da mesa tangível antes de serem usados na interação.
TOK 03 ^a	2.32	1.254	0.847	Tokens com textura mais agradável seriam manipulados antes dos que não tem textura.
TOK 04	2.39	1.498	0.841	Tamanho do token não tem relevância nenhuma para a experiência com a mesa tangível.
TOK 05	4.50	1.133	0.848	Instruções de áudio e texto me ajudariam no uso da mesa tangível.
TOK 06	4.37	1.101	0.842	A forma do token deve dar alguma dica de que tipo de ação pode ser feita com ele.
TOK 07	4.71	0.927	0.832	Os tokens ficarem próximos a mim facilita a interação.
TOK 08	4.58	1.081	0.835	O token ter um formato que facilite o ato de "pegar" ajuda no processo de interação
TOK 09	3.45	1.572	0.835	Qualquer objeto pode ser um token para qualquer tipo de aplicação.
TOK 10 ^a	3.89	1.331	0.849	Textura e cor dos tokens não influenciam na experiência de uso da mesa tangível.
TOK 11	3.55	1.201	0.846	Quanto mais tokens disponíveis melhor
TOK 12	3.68	1.472	0.830	O token pode ter qualquer formato.
TOK 13	4.03	1.150	0.837	Eu entendi que deveria ser feito com cada token em todos os momentos da avaliação.
TOK 14	4.58	0.889	0.835	Ao colocar o token na mesa a reação dela me ajudou a efetuar as próximas ações.
TOK 15	4.21	1.143	0.832	O objeto que é o token influencia no uso que fazemos dele na interação.
CON 16 ^a	2.24	1.403	0.846	Comprimento de braços, tamanho das mãos pode influenciar a UX da mesa tangível.
CON 17	4.53	1.006	0.838	Minha primeira interação na mesa tangível será feita com a mão dominante.
CON 18	4.53	0.922	0.836	Consegui entender qual era minha área de interação e qual era a área comum.
CON 19 ^a	3.08	1.343	0.854	Braços cruzando sobre a mesa tangível para manipular os tokens não atrapalha seu uso.
CON 20	3.24	1.384	0.836	Consegui deduzir sem explicação que era largar o token na mesa para interagir com ela.
CON 21	4.61	0.916	0.837	Utilizar as duas mãos para fazer uma ação aumenta a produtividade no uso com a mesa.
CON 22	3.74	1.349	0.832	Os textos, imagens que são apresentados na mesa podem ficar em qualquer lugar.
CON 23	4.63	0.852	0.834	Com as instruções de áudio e texto consegui entender melhor o que deveria ser feito.
CON 24 ^a	3.97	1.325	0.831	Tive dificuldade de entender quem estava no comando da ação nas atividades.
AMB 25	4.68	0.809	0.833	Ter um espaço adequado ao redor da mesa tangível torna a interação mais convidativa.
AMB 26	2.58	1.500	0.851	Planejar o espaço em conjunto com as aplicações da mesa tangível não influencia nada.
AMB 27 ^a	2.84	1.603	0.835	Pouca iluminação pode atrapalhar a experiência de uso da mesa tangível.
AMB 28 ^a	2.68	1.491	0.838	Som ambiente muito alto ao redor pode confundir a interação com a mesa tangível.
AMB 29	2.18	1.291	0.842	Altura da mesa tangível pouco importa para interação com ela.

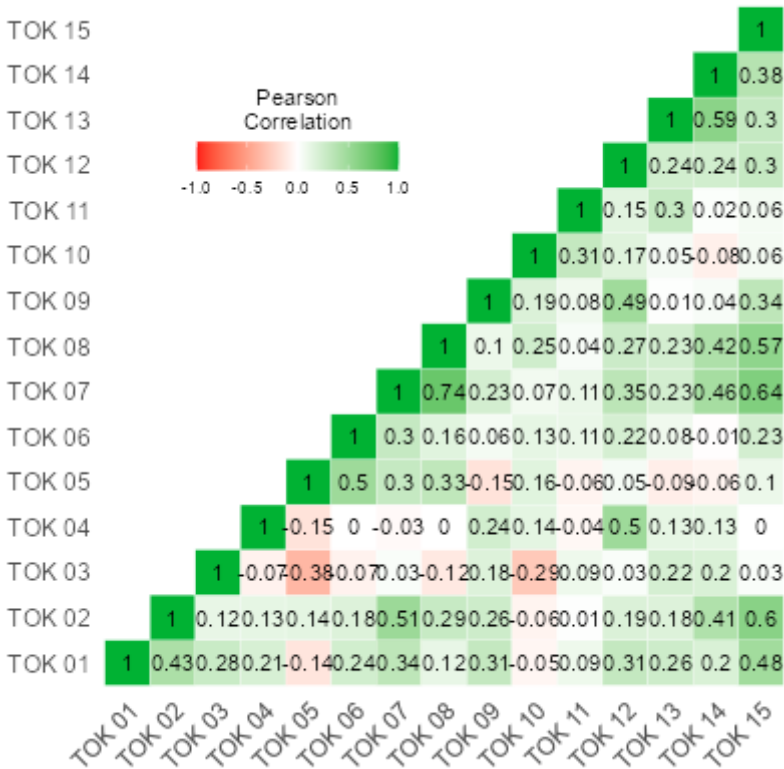
^a reverse scaled item

Tokens e física intuitiva

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α	
scale	0.745

Correlation Heatmap

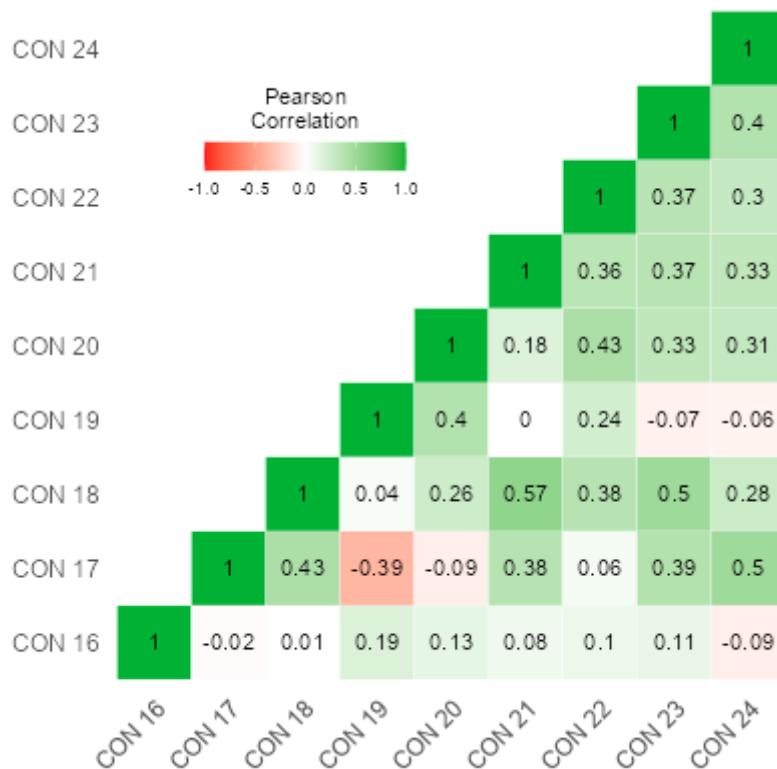


Consciência corporal e social

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α	
scale	0.677

Correlation Heatmap

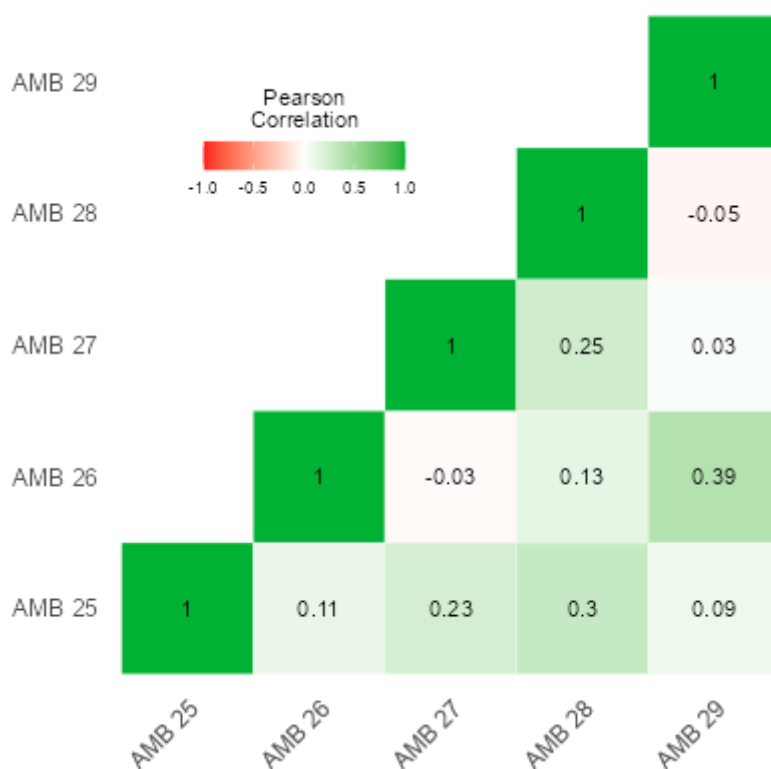


Fatores Ambientais

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α	
scale	0.430

Correlation Heatmap



Testes ANOVA entre os diversos grupos de usuários x questionário

Tokens e física intuitiva

One-Way ANOVA (Fisher's)

	F	df1	df2	p
A cor do token influencia o uso da mesa tangível.	1.040	9	30	0.433
Os tokens devem ficar ao redor da mesa tangível antes de serem.	1.047	9	30	0.428
Tokens com textura mais agradável seriam manipulados antes.	0.346	9	30	0.951
Tamanho do token não tem relevância nenhuma para a experiência.	0.997	9	30	0.463
Instruções de áudio e texto me ajudariam no uso.	1.139	9	30	0.368
A forma do token deve dar alguma dica de que tipo de ação.	0.467	9	30	0.885
Os tokens ficarem próximos a mim facilita a interação.	0.727	9	30	0.681
O token ter um formato que facilite o ato de pegar com as mãos	2.490	9	29	0.030
Qualquer objeto pode token para qualquer tipo de aplicação.	1.233	9	30	0.313
Textura e cor dos tokens não influenciam na experiência de uso.	1.244	9	30	0.307
Quanto mais tokens disponíveis melhor.	1.553	9	30	0.175
O token pode ter qualquer formato.	1.436	9	30	0.217
Eu entendi perfeitamente o que deveria ser feito com cada token	0.991	9	30	0.468
Ao colocar o token no tampo da mesa a reação dela a essa ação	0.377	9	30	0.937
O objeto que é o token influencia no uso que fazemos dele.	0.935	9	30	0.510

Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
A cor do token influencia o uso da mesa tangível.	A	4	3.00	1.826	0.913
	B	4	3.50	1.291	0.645
	C	4	3.25	2.062	1.031
	D	4	2.25	1.893	0.946
	E	4	3.25	2.062	1.031
	F	4	4.50	0.577	0.289
	G	4	4.50	1.000	0.500
	H	4	5.00	0.000	0.000
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	4.00	2.000	1.000
Os tokens devem ficar ao redor da mesa tangível antes de serem.	A	4	5.00	0.000	0.000
	B	4	4.50	1.000	0.500
	C	4	4.25	1.500	0.750
	D	4	5.00	0.000	0.000
	E	4	3.00	2.309	1.155
	F	4	4.25	0.957	0.479
	G	4	5.00	0.000	0.000
	H	4	4.50	1.000	0.500
	I	4	3.75	1.893	0.946
	J	4	3.50	1.915	0.957
Tokens com textura mais agradável seriam manipulados antes.	A	4	4.00	0.816	0.408
	B	4	3.50	1.732	0.866
	C	4	3.00	0.816	0.408
	D	4	4.50	0.577	0.289
	E	4	3.50	1.732	0.866
	F	4	3.50	1.732	0.866
	G	4	3.50	1.291	0.645
	H	4	3.75	0.957	0.479
	I	4	3.75	0.957	0.479
	J	4	3.75	1.893	0.946
Tamanho do token não tem relevância nenhuma para a experiência.	A	4	1.25	0.500	0.250
	B	4	2.25	1.893	0.946
	C	4	3.75	1.500	0.750
	D	4	2.50	1.291	0.645
	E	4	2.25	1.893	0.946
	F	4	2.25	0.957	0.479
	G	4	1.50	0.577	0.289
	H	4	2.00	1.414	0.707
	I	4	2.50	1.732	0.866
	J	4	3.25	2.062	1.031
Instruções de áudio e texto me ajudariam no uso.	A	4	5.00	0.000	0.000
	B	4	4.75	0.500	0.250
	C	4	3.50	1.915	0.957
	D	4	5.00	0.000	0.000
	E	4	5.00	0.000	0.000
	F	4	5.00	0.000	0.000
	G	4	4.00	0.816	0.408

Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	3.75	1.893	0.946
A forma do token deve dar alguma dica de que tipo de ação.	A	4	4.75	0.500	0.250
	B	4	4.00	0.816	0.408
	C	4	4.00	2.000	1.000
	D	4	4.00	1.155	0.577
	E	4	4.25	1.500	0.750
	F	4	4.75	0.500	0.250
	G	4	4.50	0.577	0.289
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	5.00	0.000	0.000
Os tokens ficarem próximos a mim facilita a interação.	A	4	5.00	0.000	0.000
	B	4	4.75	0.500	0.250
	C	4	4.00	2.000	1.000
	D	4	4.75	0.500	0.250
	E	4	5.00	0.000	0.000
	F	4	5.00	0.000	0.000
	G	4	5.00	0.000	0.000
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	5.00	0.000	0.000
O token ter um formato que facilite o ato de pegar com as mãos	A	4	5.00	0.000	0.000
	B	4	4.75	0.500	0.250
	C	4	2.75	1.708	0.854
	D	4	5.00	0.000	0.000
	E	4	5.00	0.000	0.000
	F	4	5.00	0.000	0.000
	G	3	5.00	0.000	0.000
	H	4	4.50	1.000	0.500
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	5.00	0.000	0.000
Qualquer objeto pode token para qualquer tipo de aplicação.	A	4	2.75	0.957	0.479
	B	4	2.00	1.155	0.577
	C	4	3.25	2.062	1.031
	D	4	5.00	0.000	0.000
	E	4	4.00	1.414	0.707
	F	4	4.00	1.414	0.707
	G	4	4.00	1.414	0.707
	H	4	3.50	1.915	0.957
	I	4	2.75	1.708	0.854
	J	4	3.25	2.062	1.031
Textura e cor dos tokens não influenciam na experiência de uso.	A	4	2.50	1.915	0.957
	B	4	2.50	1.291	0.645
	C	4	3.00	1.633	0.816
	D	4	2.00	0.816	0.408

Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
	E	4	1.75	0.957	0.479
	F	4	2.75	1.258	0.629
	G	4	1.00	0.000	0.000
	H	4	3.00	2.309	1.155
	I	4	1.25	0.500	0.250
	J	4	1.50	0.577	0.289
Quanto mais tokens disponíveis melhor.	A	4	3.50	0.577	0.289
	B	4	3.50	1.291	0.645
	C	4	2.50	1.915	0.957
	D	4	3.50	1.000	0.500
	E	4	3.00	1.633	0.816
	F	4	3.00	1.414	0.707
	G	4	4.00	0.816	0.408
	H	4	3.25	0.500	0.250
	I	4	4.25	0.957	0.479
	J	4	5.00	0.000	0.000
O token pode ter qualquer formato.	A	4	1.50	1.000	0.500
	B	4	4.00	1.414	0.707
	C	4	3.50	1.915	0.957
	D	4	4.25	0.957	0.479
	E	4	4.00	1.414	0.707
	F	4	4.00	1.414	0.707
	G	4	4.00	1.414	0.707
	H	4	3.75	1.500	0.750
	I	4	3.25	1.708	0.854
	J	4	4.50	1.000	0.500
Eu entendi perfeitamente o que deveria ser feito com cada token	A	4	4.00	0.816	0.408
	B	4	4.25	0.957	0.479
	C	4	4.00	0.816	0.408
	D	4	3.25	1.708	0.854
	E	4	3.50	1.291	0.645
	F	4	3.75	1.258	0.629
	G	4	4.25	0.957	0.479
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	3.50	1.732	0.866
	J	4	5.00	0.000	0.000
Ao colocar o token no tampo da mesa a reação dela a essa ação	A	4	4.75	0.500	0.250
	B	4	4.50	1.000	0.500
	C	4	4.50	1.000	0.500
	D	4	4.50	1.000	0.500
	E	4	4.75	0.500	0.250
	F	4	4.25	0.957	0.479
	G	4	4.75	0.500	0.250
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	5.00	0.000	0.000
O objeto que é o token influencia no uso que fazemos dele.	A	4	4.50	1.000	0.500

Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
	B	4	4.50	0.577	0.289
	C	4	3.00	1.414	0.707
	D	4	4.00	0.816	0.408
	E	4	4.50	0.577	0.289
	F	4	4.50	0.577	0.289
	G	4	4.75	0.500	0.250
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	3.75	1.893	0.946
	J	4	4.00	2.000	1.000

Testes ANOVA entre os diversos grupos de usuários x questionário

Constraint, consciência social e corporal

One-Way ANOVA (Fisher's)

	F	df1	df2	p
Comprimento de braços, tamanho das mãos pode influenciar	5.838	9	30	< .001
minha primeira interação com o token mão dominante	1.111	9	30	0.385
Consegui entender qual era minha área de interação	0.575	9	30	0.807
Braços de diferentes pessoas cruzando sobre a mesa tangível par	1.280	9	30	0.288
Consegui deduzir sem nenhuma explicação que era só largar	0.988	9	30	0.470
Utilizar as duas mãos para fazer uma ação aumenta produtividade	0.724	9	30	0.684
Os textos, imagens que são apresentados sobre a mesa	0.714	9	29	0.692
Com as instruções de áudio e texto consegui entender melhor	2.148	9	30	0.056
Tive dificuldade de entender quem estava no comando da ação	0.566	9	30	0.813

Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
Comprimento de braços, tamanho das mãos pode influenciar	A	4	4.00	0.816	0.408
	B	4	4.00	0.816	0.408
	C	4	4.75	0.500	0.250
	D	4	2.25	0.957	0.479
	E	4	4.75	0.500	0.250
	F	4	2.25	0.957	0.479
	G	4	4.75	0.500	0.250
	H	4	4.25	0.957	0.479
	I	4	4.75	0.500	0.250
	J	4	2.00	2.000	1.000
minha primeira interação com o token mão dominante	A	4	5.00	0.000	0.000
	B	4	4.75	0.500	0.250
	C	4	5.00	0.000	0.000
	D	4	5.00	0.000	0.000
	E	4	4.75	0.500	0.250
	F	4	4.25	0.957	0.479
	G	4	4.50	0.577	0.289
	H	4	4.50	1.000	0.500
	I	4	3.75	1.893	0.946
	J	4	3.50	1.915	0.957
Consegui entender qual era minha área de interação	A	4	5.00	0.000	0.000
	B	4	4.25	0.957	0.479
	C	4	4.50	1.000	0.500
	D	4	4.25	0.957	0.479
	E	4	4.75	0.500	0.250
	F	4	4.00	1.155	0.577
	G	4	5.00	0.000	0.000
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	4.50	1.000	0.500
Braços de diferentes pessoas cruzando sobre a mesa tangível par	A	4	3.00	1.155	0.577
	B	4	2.50	1.000	0.500
	C	4	2.50	1.732	0.866
	D	4	2.00	1.414	0.707
	E	4	3.00	1.414	0.707
	F	4	2.00	0.816	0.408
	G	4	3.00	0.000	0.000
	H	4	3.75	0.957	0.479
	I	4	3.25	1.708	0.854
	J	4	4.25	1.500	0.750
Consegui deduzir sem nenhuma explicação que era só largar	A	4	3.00	1.414	0.707
	B	4	3.25	1.708	0.854
	C	4	2.25	0.957	0.479
	D	4	3.50	0.577	0.289
	E	4	2.75	1.708	0.854
	F	4	2.25	0.957	0.479
	G	4	3.50	1.000	0.500

Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
	H	4	4.25	1.500	0.750
	I	4	3.50	1.915	0.957
	J	4	4.00	1.155	0.577
Utilizar as duas mãos para fazer uma ação aumenta produtividade	A	4	5.00	0.000	0.000
	B	4	4.50	1.000	0.500
	C	4	4.50	1.000	0.500
	D	4	4.25	0.957	0.479
	E	4	5.00	0.000	0.000
	F	4	4.50	1.000	0.500
	G	4	4.00	1.155	0.577
	H	4	5.00	0.000	0.000
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	5.00	0.000	0.000
Os textos, imagens que são apresentados sobre a mesa	A	4	3.25	2.062	1.031
	B	4	3.75	0.957	0.479
	C	4	3.75	0.957	0.479
	D	4	2.75	0.957	0.479
	E	4	4.00	2.000	1.000
	F	3	3.33	0.577	0.333
	G	4	4.00	1.414	0.707
	H	4	4.00	1.414	0.707
	I	4	3.75	1.893	0.946
	J	4	5.00	0.000	0.000
Com as instruções de áudio e texto consegui entender melhor	A	4	4.75	0.500	0.250
	B	4	5.00	0.000	0.000
	C	4	4.50	1.000	0.500
	D	4	5.00	0.000	0.000
	E	4	4.75	0.500	0.250
	F	4	4.00	1.155	0.577
	G	4	5.00	0.000	0.000
	H	4	4.75	0.500	0.250
	I	4	3.25	1.708	0.854
	J	4	5.00	0.000	0.000
Tive dificuldade de entender quem estava no comando da ação	A	4	1.25	0.500	0.250
	B	4	2.00	2.000	1.000
	C	4	2.00	1.414	0.707
	D	4	2.00	0.816	0.408
	E	4	1.75	0.957	0.479
	F	4	2.75	1.258	0.629
	G	4	2.75	1.500	0.750
	H	4	1.25	0.500	0.250
	I	4	2.25	1.893	0.946
	J	4	2.25	1.893	0.946

Testes ANOVA entre os diversos grupos de usuários x questionário

Fatores ambientais

One-Way ANOVA (Fisher's)

	F	df1	df2	p
Ter um espaço adequado ao redor da mesa tangível.	0.868	9	30	0.563
Planejar o espaço onde está inserida em conjunto	2.019	9	30	0.072
Pouca iluminação pode atrapalhar a experiência	0.922	9	30	0.520
Som ambiente muito alto ao redor pode confundir a interação	0.359	9	30	0.946
Altura da mesa tangível pouco importa para interação com ela.	1.214	9	30	0.323

Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
Ter um espaço adequado ao redor da mesa tangível.	A	4	4.75	0.500	0.250
	B	4	5.00	0.000	0.000
	C	4	4.50	0.577	0.289
	D	4	4.75	0.500	0.250
	E	4	4.00	1.155	0.577
	F	4	4.50	1.000	0.500
	G	4	5.00	0.000	0.000
	H	4	5.00	0.000	0.000
	I	4	4.00	2.000	1.000
	J	4	5.00	0.000	0.000
Planejar o espaço onde está inserida em conjunto	A	4	1.50	1.000	0.500
	B	4	2.00	1.155	0.577
	C	4	2.50	1.291	0.645
	D	4	3.75	1.893	0.946
	E	4	3.25	1.708	0.854
	F	4	2.50	0.577	0.289
	G	4	1.25	0.500	0.250
	H	4	2.25	1.893	0.946
	I	4	2.25	1.500	0.750
	J	4	4.25	0.957	0.479
Pouca iluminação pode atrapalhar a experiência	A	4	4.50	1.000	0.500
	B	4	4.00	1.414	0.707
	C	4	2.75	1.708	0.854
	D	4	2.50	1.915	0.957
	E	4	3.25	1.708	0.854
	F	4	3.75	0.957	0.479
	G	4	2.75	0.500	0.250
	H	4	3.25	1.708	0.854
	I	4	2.75	2.062	1.031
	J	4	2.00	2.000	1.000
Som ambiente muito alto ao redor pode confundir a interação	A	4	3.75	1.893	0.946
	B	4	3.75	1.258	0.629
	C	4	3.25	1.708	0.854
	D	4	3.75	1.893	0.946
	E	4	2.50	1.915	0.957
	F	4	3.50	0.577	0.289
	G	4	3.00	1.414	0.707
	H	4	2.50	1.291	0.645
	I	4	3.00	1.826	0.913
	J	4	3.50	1.915	0.957
Altura da mesa tangível pouco importa para interação com ela.	A	4	2.25	1.258	0.629
	B	4	2.00	0.816	0.408
	C	4	2.25	0.957	0.479
	D	4	2.25	0.957	0.479
	E	4	3.00	2.309	1.155
	F	4	3.00	0.000	0.000
	G	4	1.50	0.577	0.289

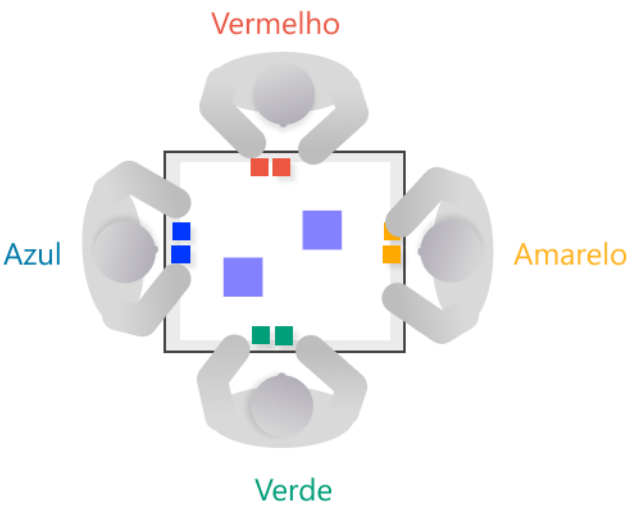
Group Descriptives

	GRUPOS	N	Mean	SD	SE
	H	4	1.25	0.500	0.250
	I	4	1.25	0.500	0.250
	J	4	3.00	2.309	1.155

APÊNDICE M LISTA DE TAREFAS E TESTES ESTATÍSTICOS SOBRE OS TEMPOS DE EXECUÇÃO NA MESA TANGÍVEL

Desenho em vista super das atividades no teste de usabilidade

Arranjo padrão dos usuários em relação a mesa.



Tarefas com 2 usuários

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

13

Interação com 2 usuários

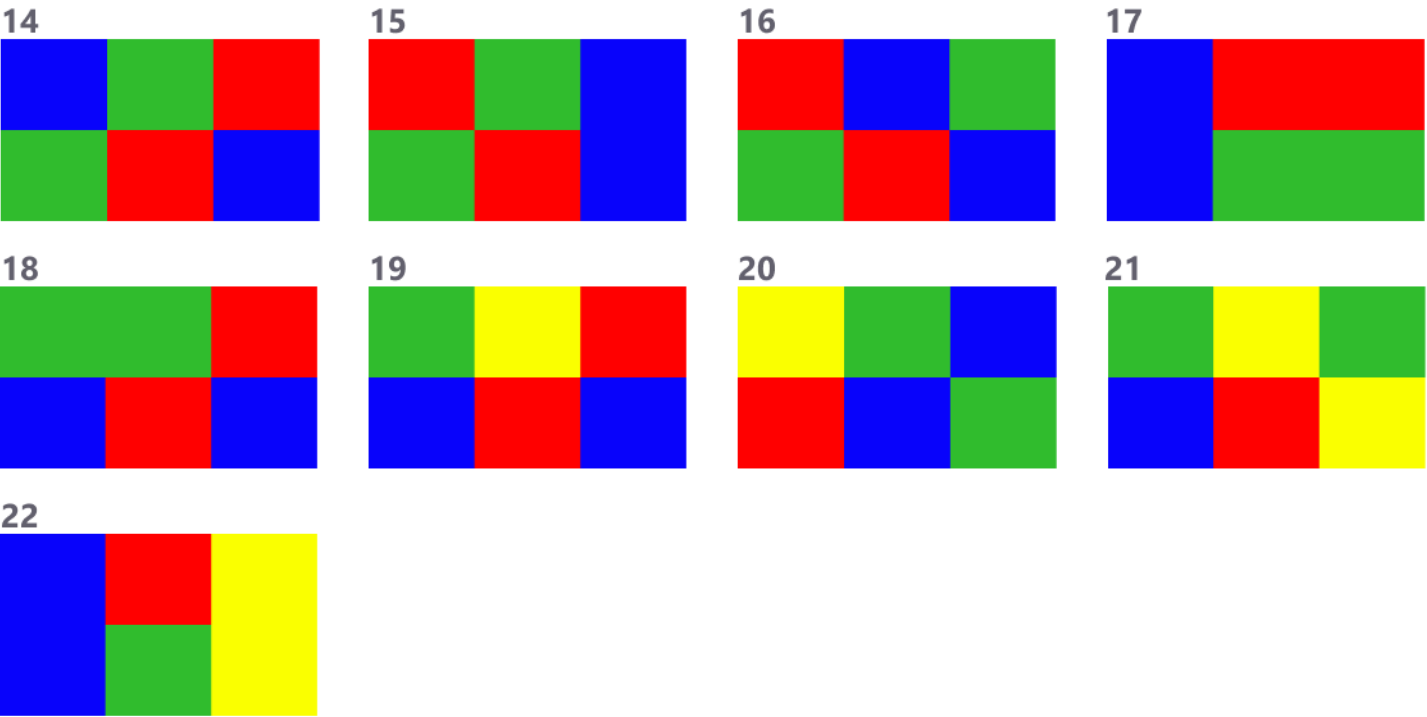
Dados gerais descritivos sobre as tarefas em todos os grupos

Descriptives													
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
N	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Mean	5.50	4.14	3.48	3.56	4.18	3.43	3.85	3.98	5.44	4.92	4.21	3.99	3.59
Median	5.09	4.04	3.09	3.18	3.26	3.12	3.08	3.08	4.24	3.26	3.15	3.26	3.17
Standard deviation	1.81	2.24	1.10	1.41	1.90	0.827	2.21	2.00	2.96	3.08	3.32	1.21	0.951
Minimum	4.00	0.0100	3.01	2.27	3.02	3.07	3.05	3.03	3.18	3.11	3.02	3.09	3.08
Maximum	10.3	10.0	7.01	8.04	10.2	6.01	11.1	10.2	12.3	12.2	15.2	7.19	6.06
Shapiro-Wilk W	0.798	0.829	0.455	0.533	0.582	0.495	0.412	0.543	0.781	0.626	0.390	0.763	0.594
Shapiro-Wilk p	0.006	0.016	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	0.004	< .001	< .001	0.003	< .001

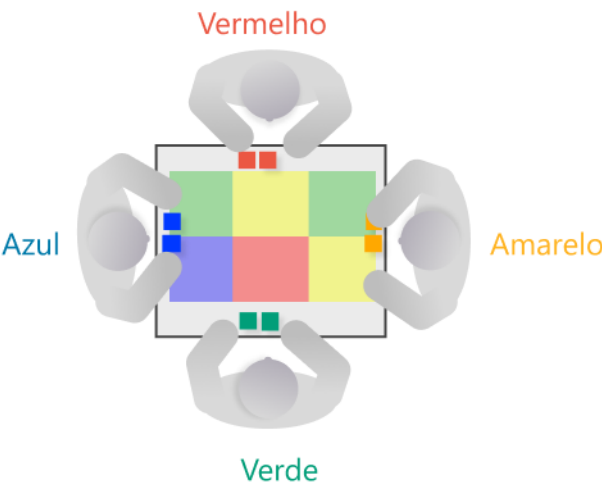
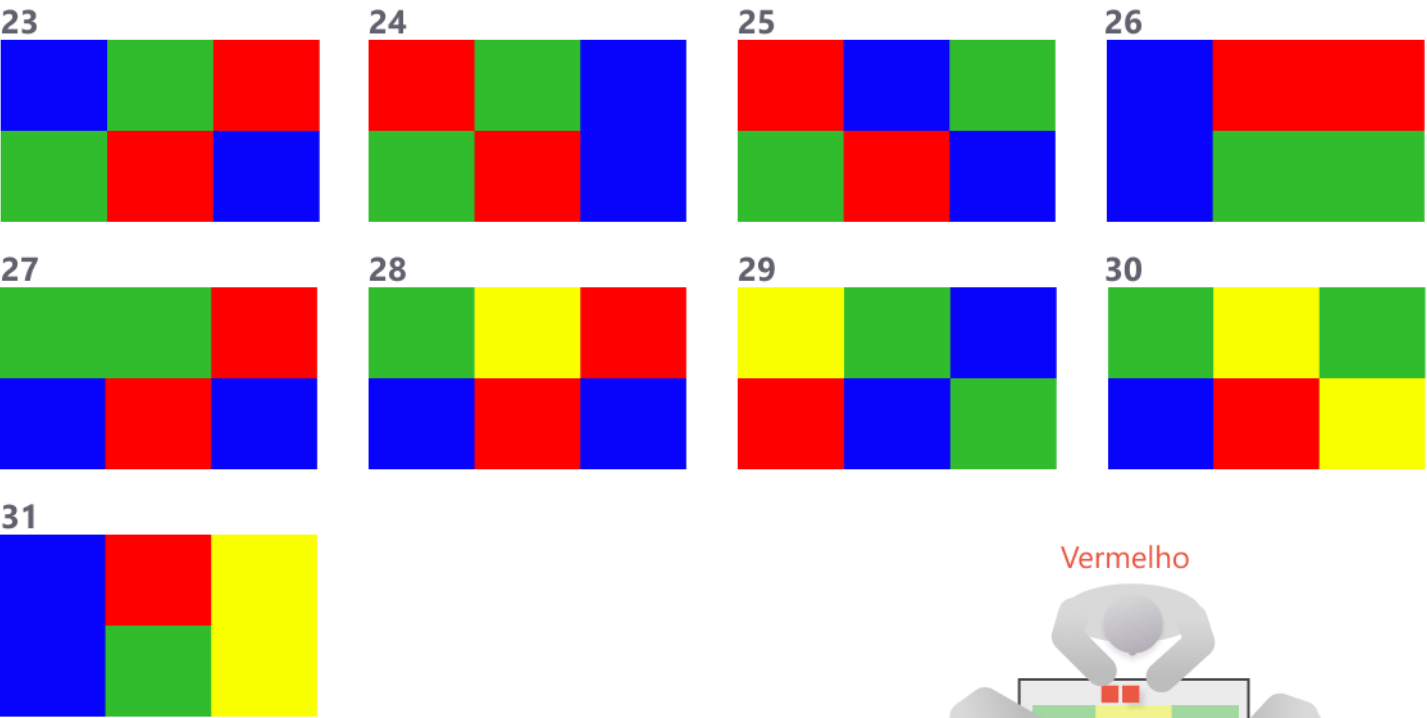
T-Test Pareado entre diversas tarefas

Paired Samples T-Test					
			statistic	df	p
03	04	Student's t	-0.800	12.00	0.439
05	08	Student's t	0.290	12.00	0.777
01	05	Student's t	3.565	12.00	0.004
02	06	Student's t	1.606	12.00	0.134
04	09	Student's t	-2.959	12.00	0.012
09	11	Student's t	1.973	12.00	0.072
10	13	Student's t	1.503	12.00	0.159
09	10	Student's t	0.586	12.00	0.569
11	12	Student's t	0.241	12.00	0.813
10		Student's t	1.209	12.00	0.250
13		Student's t	-2.032	12.00	0.065
	10	Student's t	-1.503	12.00	0.159
cruzada	regular	Student's t	0.995	4.00	0.376

Tarefas com 3 e 4 usuários uma mão



Tarefas com 3 e 4 usuários bimanual



Interação regular e cruzada com uma mão ou duas entre 3 e 4 usuários

Dados gerais descritivos sobre as tarefas em todos os grupos

Descriptives																				
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	uma mão	bimanu
N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	9	
Mean	11.1	9.99	6.64	7.10	7.99	8.24	7.08	6.57	5.58	4.74	6.47	8.72	6.97	5.20	6.71	5.64	6.11	7.08	8.22	6.7
Median	8.24	8.00	6.21	6.29	7.18	7.05	5.26	5.19	5.14	3.29	5.18	5.23	5.06	4.22	5.20	5.26	5.14	5.00	7.48	6.7
Standard deviation	10.9	5.27	2.86	3.54	3.95	4.15	4.67	4.33	2.57	4.45	5.27	9.75	6.73	2.76	3.96	1.96	3.03	4.45	1.84	1.2
Minimum	5.07	4.11	2.06	2.59	3.24	3.43	3.29	2.43	2.00	2.51	3.00	4.10	3.14	1.83	3.01	1.40	2.17	3.25	5.87	5.0
Maximum	50.2	22.1	13.1	17.3	18.1	17.3	19.1	22.1	12.3	21.2	25.2	44.1	31.1	14.2	19.2	9.25	14.0	17.0	11.7	9.1
Shapiro-Wilk W	0.531	0.852	0.827	0.840	0.889	0.855	0.641	0.547	0.901	0.413	0.527	0.480	0.532	0.704	0.730	0.922	0.799	0.753	0.917	0.96
Shapiro-Wilk p	< .001	0.014	0.006	0.010	0.053	0.016	< .001	< .001	0.084	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	0.184	0.003	< .001	0.369	0.83

T-Test Pareado entre diversas tarefas

Paired Samples T-Test					
			statistic	df	p
14	17	Student's t	1.8519	15.00	0.084
15		Student's t	1.9088	15.00	0.076
14	19	Student's t	1.2650	15.00	0.225
15		Student's t	1.1186	15.00	0.281
16	21	Student's t	0.0965	15.00	0.924
21	22	Student's t	1.4627	15.00	0.164
19		Student's t	3.4170	15.00	0.004
16	19	Student's t	-2.7049	15.00	0.016
20	21	Student's t	0.6338	15.00	0.536
14	24	Student's t	3.0686	15.00	0.008
15	25	Student's t	0.5020	15.00	0.623
16	26	Student's t	-0.2631	15.00	0.796
17	27	Student's t	3.2995	15.00	0.005
18	28	Student's t	1.3637	15.00	0.193
19	29	Student's t	3.0852	15.00	0.008
20	30	Student's t	1.8997	15.00	0.077
21	31	Student's t	-0.5355	15.00	0.600
28		Student's t	-0.3366	15.00	0.741
uma mão	bimanual	Student's t	1.6251	8.00	0.143
cruzada	regular	Student's t	1.9453	3.00	0.147

Interações regulares, cruzadas, bimanuais e com dois, três ou quatro usuários

Escala de Confiabilidade

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α	
scale	0.793

Dados gerais descritivos sobre as tarefas em todos os grupos

Descriptives

	A	B	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Mean	4.72	5.17	4.08	4.51	6.19	5.92	4.75	4.99	5.39	15.8	4.87	7.55	5.46
Median	4.10	4.19	3.28	4.13	5.15	6.00	3.29	4.24	5.26	13.0	4.06	6.12	5.07
Standard deviation	2.94	3.72	1.41	1.69	3.82	2.11	2.89	1.61	1.29	10.4	2.44	4.55	2.81
Minimum	3.02	3.00	3.06	3.01	3.04	2.27	3.06	3.19	3.20	3.17	0.0100	3.08	3.02
Maximum	18.1	22.1	9.22	10.1	17.1	12.2	15.1	9.20	7.25	50.2	12.1	19.1	14.1
Shapiro-Wilk W	0.556	0.564	0.688	0.782	0.780	0.885	0.608	0.869	0.931	0.814	0.889	0.863	0.816
Shapiro-Wilk p	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	0.003	< .001	0.001	0.045	< .001	0.004	< .001	< .001


ANOVA

ANOVA - A


	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
tarefas	171.6	10	17.16	3.95	0.004
Residuals	87.0	20	4.35		

Tarefas de áreas de proximidade, pessoal e compartilhada


32




33




34




35




36




37




38




39



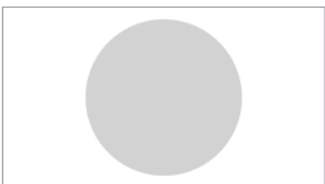
40



41



42




Tarefas de arrastar elementos na mesa

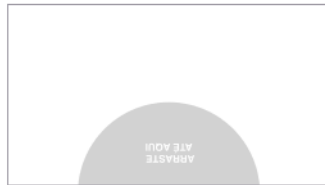
43



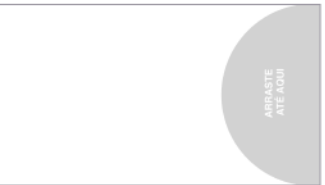
44




45




46




47




48

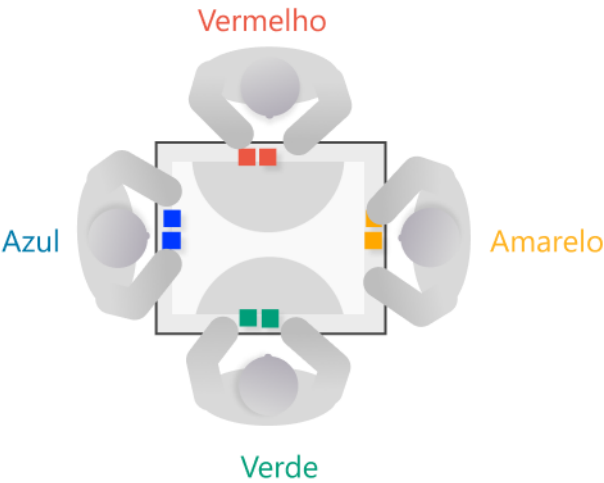


49



50





Áreas de proximidade, pessoal e compartilhada

Análise de Confiabilidade

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α	
scale	0.859

Dados descritivos das tarefas em relação a todos grupos

Descriptives

	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mean	4.45	2.93	3.24	2.63	2.92	3.26	3.77	3.05	3.22	2.99	2.86	2.77
Median	3.19	3.05	3.04	3.00	3.07	3.18	3.15	3.18	3.11	3.13	3.08	3.05
Standard deviation	2.79	1.12	1.50	0.709	0.839	1.10	2.17	0.838	1.22	0.800	0.760	0.799
Minimum	2.20	0.550	0.860	0.380	0.310	0.610	1.42	0.270	0.570	0.140	0.120	0.400
Maximum	12.2	6.22	8.20	3.22	4.08	6.20	11.2	4.09	7.12	4.09	3.21	4.19
Shapiro-Wilk W	0.657	0.758	0.656	0.706	0.714	0.788	0.547	0.652	0.558	0.478	0.424	0.783
Shapiro-Wilk p	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	0.002	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	0.002

T-Test Pareado entre tarefas

Paired Samples T-Test

			statistic	df	p
32	36	Student's t	2.47810	15.0	0.026
33		Student's t	0.00328	15.0	0.997
34		Student's t	0.91910	15.0	0.373
36	39	Student's t	-0.89036	15.0	0.387
	42	Student's t	0.60284	15.0	0.556
40		Student's t	1.48370	15.0	0.159
43	40	Student's t	-1.71701	15.0	0.107

Tarefas de arrastar elementos na mesa

Análise de Confiabilidade

Scale Reliability Statistics

Cronbach's α	
scale	0.907

[3]

Descrição de médias de todas as tarefas pelos grupos

Descriptives

	44	45	46	47	48	49	50
N	16	16	16	12	12	12	12
Missing	7	7	7	11	11	11	11
Mean	7.50	4.38	5.08	10.7	9.86	5.46	6.80
Median	6.16	4.17	4.29	9.05	10.1	4.12	7.09
Standard deviation	3.93	2.19	2.63	5.43	4.37	4.67	3.35
Minimum	2.83	1.60	1.77	4.47	3.34	3.14	2.95
Maximum	17.1	10.3	13.1	23.0	20.2	20.0	13.1
Shapiro-Wilk W	0.790	0.839	0.734	0.795	0.927	0.497	0.910
Shapiro-Wilk p	0.002	0.009	< .001	0.008	0.349	< .001	0.215

T-Test pareado entre tarefas

Paired Samples T-Test

			statistic	df	p
44	45	Student's t	4.210	15.0	< .001
46	47	Student's t	-4.059	11.0	0.002
48	49	Student's t	2.840	11.0	0.016
45	50	Student's t	-2.478	11.0	0.031
	46	Student's t	-1.486	15.0	0.158
47	48	Student's t	0.472	11.0	0.646
49	50	Student's t	-0.846	11.0	0.416
46	48	Student's t	-6.094	11.0	< .001
45	49	Student's t	-0.859	11.0	0.409

Normality Test (Shapiro-Wilk)

			W	p
44	-	45	0.816	0.005
46	-	47	0.694	< .001
48	-	49	0.891	0.123
45	-	50	0.963	0.828
45	-	46	0.880	0.039
47	-	48	0.885	0.102
49	-	50	0.840	0.028
46	-	48	0.930	0.379
45	-	49	0.667	< .001

Note. A low p-value suggests a violation of the assumption of normality

**APÊNDICE N PLANILHA COM OS TEMPOS DE EXECUÇÃO
DE TAREFAS NA MESA TANGÍVEL**

Tempos em segundos		Grupos de Usuários															
Tarefas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	MÉDIA	MEDIANA	DVP	
Dois usuários manipulando tokens																	
	4.05	5.03	4.03	4.13	7.16	4.09	5.09	6.02	5.21	10.25	7.18	5.20	4.00	5.50	5.09	1.33	
	3.16	3.23	3.23	3.28	4.08	6.00	3.24	4.04	4.21	10.04	0.01	4.15	5.10	4.14	4.04	1.36	
	3.06	3.1	3.06	3.01	3.06	3.07	3.09	3.24	4.10	7.01	3.06	3.11	3.23	3.48	3.09	0.64	
	3.18	3.09	3.22	3.17	3.1	2.27	3.17	3.28	4.25	8.04	3.08	3.19	3.25	3.56	3.18	0.80	
	5.17	3.23	3.19	3.26	3.23	4.20	3.25	4.28	3.24	10.16	4.04	4.04	3.02	4.18	3.26	1.09	
	3.17	3.07	3.08	3.07	3.12	4.14	3.10	3.19	3.29	6.01	3.09	3.16	3.07	3.43	3.12	0.51	
	3.08	3.05	3.1	3.14	3.06	4.05	3.06	4.03	3.20	11.11	3.06	3.08	3.07	3.85	3.08	1.17	
	3.10	3.06	3.25	3.08	3.04	10.23	3.08	4.16	4.50	5.11	3.03	3.08	3.08	3.98	3.08	1.24	
	3.23	4.05	3.18	4.28	3.26	6.12	3.29	4.24	5.27	12.27	3.25	10.06	8.25	5.44	4.24	2.30	
	3.16	3.2	3.26	3.25	3.22	5.17	11.14	4.00	5.02	12.20	3.11	4.10	3.18	4.92	3.26	2.13	
	3.02	3.03	3.2	3.1	3.11	4.16	3.08	3.19	3.24	15.17	3.09	4.13	3.15	4.21	3.15	1.69	
	3.13	3.09	3.21	3.22	4	5.14	4.25	4.01	7.19	5.12	3.10	3.19	3.26	3.99	3.26	0.88	
	3.08	3.09	3.1	3.19	3.13	5.16	3.17	3.20	6.06	3.17	3.09	4.04	3.14	3.59	3.17	0.69	
Quatro usuários manipulando tokens com uma mão																	
	10.04	7.13	5.07	8.24	16.1	12.20	6.00	5.17	5.14	50.20	10.08	11.06	5.08	11.65	8.24	6.70	
	18.11	22.07	4.11	8	17.07	6.25	6.24	7.08	7.03	15.21	7.10	10.19	8.19	10.51	8	4.68	
	6.21	5.12	4.02	5.21	8.22	7.04	5.14	6.25	6.27	13.01	5.24	13.13	6.08	7.00	6.21	2.06	
	4.18	5.25	4.15	4.25	6.29	7.08	12.25	8.10	6.09	17.28	7.01	6.20	9.12	7.48	6.29	2.59	
	8.28	12.19	4.24	4.12	7.18	6.06	4.12	6.15	6.04	12.14	12.13	18.13	8.20	8.38	7.18	3.24	
	5.09	5.16	8	5.16	9.01	6.14	4.21	9.20	7.05	17.27	6.29	16.13	14.06	8.67	7.05	3.43	
	5.10	5.22	4.23	5.15	7.08	6.21	3.29	6.09	7.00	18.20	5.26	19.09	5.19	7.47	5.26	3.44	
	5.04	5.13	5.01	5.04	7.13	6.21	4.04	5.19	7.25	22.09	5.08	7.20	6.10	6.96	5.19	2.43	
	4.17	4.19	5.14	3.29	9.24	6.21	3.15	8.24	6.12	12.27	4.06	6.12	4.11	5.87	5.14	2.00	
Quatro usuários manipulando tokens com as duas mãos																	
	3.24	3.14	3.08	4.1	3.22	4.21	3.22	4.01	4.11	21.21	3.29	5.12	3.11	5.00	3.29	2.51	
	5.04	3	3.28	6.26	5.2	10.09	5.29	4.24	5.26	25.24	5.18	5.07	5.07	6.79	5.18	3.35	
	4.10	4.27	5.09	10.09	4.24	5.23	4.18	7.10	5.23	44.10	4.16	11.24	10.17	9.17	5.23	5.99	
	3.23	9.25	3.25	4.08	8.21	5.24	3.14	4.08	5.09	31.06	4.01	9.14	5.06	7.30	5.06	4.38	
	4.13	5.05	4.01	4.15	4.22	5.02	4.12	4.08	5.11	14.20	3.25	8.23	6.01	5.51	4.22	1.83	
	4.04	5.21	3.28	5.05	5.16	5.07	5.20	5.11	6.05	19.20	8.27	9.14	11.28	7.08	5.2	3.01	
	4.21	5.19	9.22	5.16	5.27	6.24	3.25	5.26	5.26	9.25	7.23	7.00	5.12	5.97	5.26	1.40	
	4.27	6.18	5.07	5	5.14	6.23	3.27	4.19	7.24	14.03	6.03	12.24	5.13	6.46	5.14	2.17	
	4.25	4.19	4.06	4.19	14.24	9.02	15.13	4.20	7.12	17.03	5.00	5.24	3.25	7.46	5	3.94	
Quatro usuários utilizando regiões diversas da mesa																	
	4.12	3	3.01	3.03	10.11	12.17	3.19	3.19	3.06	3.13	6.12	4.00	3.02	4.70	3.19	2.20	
	3.25	2.29	2.2	3.17	3.05	6.22	3.13	3.06	3.02	2.24	2.24	3.03	3.22	3.09	3.05	0.55	
	3.00	2.26	3.03	8.2	3.08	4.25	3.04	2.28	3.01	3.09	3.04	3.12	3.06	3.42	3.04	0.86	
	3.00	2.23	3.01	3.22	2.26	2.29	3.08	2.27	3.01	3.04	2.27	3.15	3.10	2.76	3.01	0.38	
	3.07	2.27	3.07	3.07	3.08	4.08	3.02	3.07	3.04	2.25	4.03	3.18	3.09	3.10	3.07	0.31	
	3.21	3.2	2.29	4.03	3.16	4.07	3.07	3.05	3.08	6.20	3.18	3.26	3.12	3.46	3.18	0.61	
	3.15	3.05	3.13	3.21	3.15	6.03	3.11	3.12	3.08	3.09	3.28	11.19	3.20	3.98	3.15	1.42	
	4.00	2.29	3.13	3.18	3.1	3.21	4.09	3.06	3.20	3.29	3.11	3.29	3.12	3.24	3.18	0.27	
	3.06	3.11	3.07	3.11	3.08	7.12	3.11	3.02	3.14	3.07	3.10	3.29	3.20	3.42	3.11	0.57	
	3.06	3.05	3.2	3.18	3.13	3.11	3.14	3.06	3.06	3.14	3.02	4.09	3.19	3.19	3.13	0.14	
	3.09	3.18	3.06	3.17	3.05	3.21	3.13	3.06	3.10	2.29	3.04	3.09	3.08	3.04	3.09	0.12	
	3.01	2.29	3.05	4.19	3.06	3.10	3.06	2.27	3.06	2.23	3.16	3.14	2.25	2.91	3.06	0.40	
Deslocamento de token para áreas definidas																	
	17.14	8.25	4.14	8.03	6.09	8.14	5.27	4.17	5.24	16.15	6.05	8.28	6.16	7.93	6.16	2.83	
	5.00	8.28	3.15	3.18	2.29	4.28	4.17	4.01	3.27	10.29	2.28	4.24	5.21	4.59	4.17	1.60	
	4.07	5.13	3.28	4.1	4.21	5.03	5.11	4.11	9.12	13.11	3.18	5.13	4.29	5.37	4.29	1.77	
	9.05	7.18	7.03	9.1			23.01	8.03	11.28			9.02	20.17	11.54	9.05	4.47	
	6.20	8.23	6.08	10.05			10.19	13.26	20.23			13.02	7.20	10.50	10.05	3.34	
	3.14	4.25	3.17	5.23			5.13	4.12	4.00			20.03	3.29	5.82	4.12	3.16	
	3.11	5.03	3.26	4			13.06	7.29	11.27			7.09	10.28	7.15	7.09	2.95	
Total	233.05	238.83	191.78	228.17	244.69	259.86	251.36	234.12	268.51	565.26	201.96	348.84	262.38	282.22	229.35	102.91	
em min.	03:53:03	03:58:50	03:11:47	03:48:10	04:04:41	04:19:52	04:11:22	03:54:07	04:28:31	09:25:16	03:21:58	05:48:50	04:22:23	04:42:13	03:49:21	01:42:54	

APÊNDICE O GRUPO FOCAL - ANÁLISE DE APLICABILIDADE DO DIMETA

Sim
Parcialmente
Não

**ANEXO A PARECER CONSUBSTANCIADO DA COMISSÃO
DE ÉTICA E PESQUISA CEP FAMED**

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Mesa tangível interativa: implementação e experimentação em espaços culturais e educativos

Pesquisador: Vinicius Kruger da Costa

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 60509522.7.0000.5317

Instituição Proponente: Universidade Federal de Pelotas

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.624.663

Apresentação do Projeto:

Resumo:

As mesas tangíveis interativas, ou tangible tablespots, possibilitam formas de interação mais naturais e sociais, uma vez que o espaço interativo das superfícies (analógicas) é especialmente adequado para o desenvolvimento de aplicações colaborativas. Sendo um dispositivo de interface tangível (Tangible User Interface - TUI), não utiliza somente o sentido visual, extrapolando para além da tela da interface gráfica, permitindo o tocar, manipular, moldar diversos elementos físicos no processo de interação (ISHII, 2008). Uma mesa tangível interativa se constitui por uma interface na qual a saída de dados do sistema é exibida ou projetada sobre a superfície superior desse artefato, ou sobre objetos físicos que podem ser posicionados ou manipulados para executar as interações, atuando como controles sobre a mesa. Dentre os benefícios no uso de interfaces tangíveis, para o desenvolvimento de atividades educacionais, estão a utilização da consciência espacial e corporal, os aspectos lúdicos e o estímulo à colaboração. As tangible tablespots têm sido cada vez mais exploradas e desenvolvidas como dispositivos com características básicas iguais, mesmo que construídas com técnicas computacionais diferentes. Essas similaridades se expressam, por exemplo, na área de interação no tampo da mesa e na utilização de manipuláveis tangíveis (objetos físicos). Essas mesas atualmente, encontram-se tanto disponíveis como um produto comercial como produzidas por meio de projetos que se utilizam de tecnologias/componentes de fácil acesso sendo possível a fabricação de maneira independente Por

Endereço: Av Duque de Caxias 250, prédio da Direção - Térreo, sala 03

Bairro: Fragata

CEP: 96.030-001

UF: RS

Município: PELOTAS

Telefone: (53)3310-1801

Fax: (53)3221-3554

E-mail: cepfamed@ufpel.edu.br

exemplo, uma mesa tangível pode ser configurada a partir do uso de uma mesa de madeira com tampo de acrílico, sobre a qual pode-se projetar imagens com um projetor convencional através de um espelho, para que um software, de visão computacional, faça o rastreamento e identificação de objetos e seus posicionamentos, e reaja, como dados de saída, por meio de uma ação digital programada (imagem, som ou composições destes estímulos sensoriais). Frente às alternativas para produção de uma tangible tabletop, é perceptível um crescimento no número de pesquisas e aplicações que utilizam esse dispositivo, justamente por suas características similares e passíveis de aplicação em diversos contextos. Nesta mesma direção, este projeto objetiva produzir três protótipos funcionais de mesas tangíveis interativas, de baixo custo, para espaços culturais e educativos com a perspectiva de melhoria do processo de construção desses aparatos bem como de produção de aplicações e pesquisas sobre a utilização desse dispositivo por usuários nos espaços referidos.

Metodologia Proposta:

A metodologia utilizada será a de Research Trought Design (RTD) (REEVES, 2006) que consiste em utilizar o design como uma atividade de pesquisa para aprimorar as práticas do próprio design. Como uma abordagem ao design de interação, o RTD utiliza e integra os modelos e teorias com a técnica no processo de produzir o projeto. A partir da construção de cada um dos protótipos, os designers vão gerar documentação, incluindo esboços, desenhos, modelos e protótipos para interrogar ideias, testar hipóteses e fazer novas perguntas através dos métodos de avaliação.

Em termos de etapas metodológicas e a relação com os entregáveis podemos dividir da seguinte maneira: Identificar e analisar problemas através de pesquisadores e profissionais da área: Revisão sistemática de literatura acerca da área de design de interação sobre mesas tangíveis, como são construídas, tecnologias envolvidas e definição de configuração inicial para prototipagem.

Desenvolvimento de soluções de protótipo: apoiado no estudo de revisão sobre o estado da arte, relativo aos princípios de design existentes e às inovações tecnológicas: Implementação do projeto computacional com criação da infraestrutura e do próprio protótipo da mesa tangível interativa, além do desenvolvimento dos projetos de aplicações para o uso do dispositivo criado dentro do contexto de espaços culturais e educacionais. Ciclos iterativos de teste e refinamento de soluções na prática: Aplicação de testes de usabilidade (BROOKE, 1996) e de experiência de usuário (HASSENZAHN, 2003) por meio de questionários elaborados a partir das recomendações de autores referenciados. Serão utilizados instrumentos como grupos focais, entrevistas e observações por especialistas.

Com os resultados desses processos de avaliação, novas diretrizes de melhorias e refinamentos na

Endereço: Av Duque de Caxias 250, prédio da Direção - Térreo, sala 03

Bairro: Fragata

CEP: 96.030-001

UF: RS

Município: PELOTAS

Telefone: (53)3310-1801

Fax: (53)3221-3554

E-mail: cepfamed@ufpel.edu.br

Continuação do Parecer: 5.624.663

construção da mesa tangível e das aplicações nela contida subsidiarão a produção de novos protótipos. Quando de observações e entrevistas abertas o contexto será de pesquisa em campo, com o protótipo da mesa dentro do espaço cultural educacional com livre circulação e acesso. Já com grupos focais e em testes mais assertivos de usabilidade serão realizados em ambientes controlados, como uma sala de aula por exemplo.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Desenvolvimento e produção de três protótipos de mesas tangíveis interativas para o uso em espaços culturais e educacionais.

Objetivo Secundário:

Aprimoramento de design dos projetos das mesas interativas tangíveis bem como melhoria e expansão na produção e pesquisa de aplicações interativas que usem esse dispositivo como base de interação

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Conforme pesquisador responsável:

Riscos:

A probabilidade de que ocorra algum evento desfavorável na realização desse projeto é mínima. Durante a construção dos protótipos somente os pesquisadores estarão envolvidos, seguindo todos os protocolos de segurança e sanitários na execução desses. Com relação aos participantes externos que irão avaliar e experimentar os protótipos das mesas tangíveis interativas os riscos também são ínfimos, visto que, a pesquisa utilizará como coleta de dados somente o relato das experiências desses usuários através do preenchimento de questionários ou de registro de vídeos e ou áudios.

Os usuários que estiverem habilitados para participarem dos processos de avaliação dos protótipos devem também seguir todos os protocolos sanitários exigidos pelos espaços culturais e educacionais da universidade e terão que ler e assinar um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido com detalhamento da natureza do estudo.

Durante a construção desse projeto as normas exigem o uso de máscara, material de higienização e comprovante de vacina para COVID 19 com objetivo de mitigar qualquer possibilidade de disseminação do vírus. Os materiais empregados para a produção das interfaces tangíveis permitem a higienização com álcool.

Endereço: Av Duque de Caxias 250, prédio da Direção - Térreo, sala 03

Bairro: Fragata

CEP: 96.030-001

UF: RS

Município: PELOTAS

Telefone: (53)3310-1801

Fax: (53)3221-3554

E-mail: cepfamed@ufpel.edu.br

Continuação do Parecer: 5.624.663

Benefícios:

A produção e disponibilização de mesas tangíveis interativas em espaços culturais educacionais trará benefícios à instituição e à comunidade em geral que usufrui dos espaços através de atividades de extensão. As mesas estimulam a utilização da consciência espacial e corporal, permitem explorar aspectos lúdicos, e promovem a colaboração, no desenvolvimento de atividades educacionais e culturais nos espaços onde está inserida. Além disso, questões de acessibilidade cultural (como possibilidade de uso para áudio descrição, por exemplo) são alguns dos recursos que podem ser agregados ao funcionamento desse dispositivo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Projeto proveniente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFPEL

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Vide campo "Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações"

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Pendências

1. Metodologia: Esclarecer quem serão os participantes e como serão convidados/ selecionados, assim como critérios de inclusão.

Resposta do pesquisador: Foi inserida e grifada a seguinte sentença na pág. 7 do Projeto (Nome do arquivo [Projetodetalhadoversao2.pdf](#)):

"Quanto a seleção de participantes a seleção será por uma amostragem não probabilística por conveniência não intencional. Todos os participantes que ingressarem no ambiente educacional cultural no qual está inserida a mesa tangível, num dado período específico, serão convidadas a participar por livre vontade. Dessa forma contempla-se diversidade na amostragem populacional mesmo que não se tenha controle de representatividade."

2. Metodologia: Acrescentar roteiro de entrevista a ser utilizado

Resposta do pesquisador: Foi anexada a Plataforma Brasil o arquivo com a estrutura de roteiro para observação dos participantes sem mediação e das entrevistas semiestruturadas aplicadas aos que, por livre interesse, participarem da pesquisa.

Nome do arquivo [Roteiroobservacoesentrevistasemiestruturada.pdf](#)

Endereço: Av Duque de Caxias 250, prédio da Direção - Térreo, sala o3

Bairro: Fragata

CEP: 96.030-001

UF: RS

Município: PELOTAS

Telefone: (53)3310-1801

Fax: (53)3221-3554

E-mail: cepfamed@ufpel.edu.br

UFPEL - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE PELOTAS



Continuação do Parecer: 5.624.663

3. TCLE: Acrescentar riscos, benefícios, contato do CEP/FAMED

Resposta do pesquisador: Foram inseridas e grifadas as seguintes sentenças no texto do TCLE (Nome do arquivo tcleversao2.pdf)

“Fui informado (a) sobre os objetivos do projeto que em linhas gerais trata-se de buscar aperfeiçoamento e o desenvolvimento (aprimorado) de um protótipo de mesa tangível interativa que trará benefícios a comunidade em geral que irá usufruir dessa tecnologia dentro de espaços com atividades de extensão.

Também fui informado(a) que durante a execução da pesquisa, mesmo com pouca probabilidade, podem ocorrer eventos desfavoráveis que serão mitigados pela equipe de pesquisa e toda estrutura da instituição proponente Universidade Federal de Pelotas.”

No rodapé também foram inseridas e grifadas as informações gerais de contato do pesquisador responsável e da CEP/FAMED

Pesquisador responsável: Vinicius Kruger da Costa +55 53 99135 5942
viniciusdacosta@gmail.com

Projeto registrado no Conselho de Ética e Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas (CEP/FAMED - UFPel) sob título MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS com Nº CAAE: 60509522.7.0000.5317 | Contatos CEP/FAMED +55 53 3310 1801 cepfamed@ufpel.edu.br.

Resposta do CEP: Pendências atendidas

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1955828.pdf	26/08/2022 15:20:34		Aceito
Outros	Cartaresposta.pdf	26/08/2022 15:19:37	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projetodetalhadoversao2.pdf	26/08/2022 15:18:46	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
TCLE / Termos de	tcleversao2.pdf	26/08/2022	Vinicius Kruger da	Aceito

Endereço: Av Duque de Caxias 250, prédio da Direção - Térreo, sala 03

Bairro: Fragata

CEP: 96.030-001

UF: RS

Município: PELOTAS

Telefone: (53)3310-1801

Fax: (53)3221-3554

E-mail: cepfamed@ufpel.edu.br

UFPEL - FACULDADE DE
MEDICINA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE PELOTAS



Continuação do Parecer: 5.624.663

Assentimento / Justificativa de Ausência	tcleversao2.pdf	15:18:20	Costa	Aceito
Folha de Rosto	folharosto.pdf	22/06/2022 15:01:55	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_rithiele.pdf	22/06/2022 14:54:43	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_livia.pdf	22/06/2022 14:54:00	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_anelize.pdf	22/06/2022 14:53:13	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_marcelo.pdf	13/06/2022 17:39:57	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_karine.pdf	13/06/2022 17:39:34	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_eliana.pdf	13/06/2022 17:39:17	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_cristiane.pdf	13/06/2022 17:38:52	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_tatiana.pdf	13/06/2022 17:38:25	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_adriane.pdf	13/06/2022 17:38:00	Vinicius Kruger da Costa	Aceito
Outros	curriculo_vinicius.pdf	13/06/2022 17:37:37	Vinicius Kruger da Costa	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita apreciação da CONEP:

Não

PELOTAS, 05 de Setembro de 2022

Assinado por:
Patricia Abrantes Duval
(Coordenador(a))

Endereço: Av Duque de Caxias 250, prédio da Direção - Térreo, sala 03

Bairro: Fragata

CEP: 96.030-001

UF: RS

Município: PELOTAS

Telefone: (53)3310-1801

Fax: (53)3221-3554

E-mail: cepfamed@ufpel.edu.br

ANEXO B METHODOLOGIES AND EVALUATION TOOLS USED IN TANGIBLE USER INTERFACES: A SYSTEMATIC LI- TERATURE REVIEW

Methodologies and Evaluation Tools Used in Tangible User Interfaces: A Systematic Literature Review

Vinicius Kruger da Costa
Programa Pós-Graduação em Computação - UFPel
Pelotas, Brazil
viniciusdacosta@inf.ufpel.edu.br

Natalia Toralles Darley
Programa Pós-Graduação em Computação - UFPel
Pelotas, Brazil
ntdarley@inf.ufpel.edu.br

Ana Priscila Valerão de Vasconcellos
Programa Pós-Graduação em Computação - UFPel
Pelotas, Brazil
apv.vasconcellos@inf.ufpel.edu.br

Tatiana Aires Tavares
Programa Pós-Graduação em Computação - UFPel
Pelotas, Brazil
tatiana@inf.ufpel.edu.br

ABSTRACT

Tangible User Interfaces (TUI) have been a recurring field of investigations of Human Computer Interaction (HCI) area because they stimulate the process of collaborative interaction, for example, in addition to the ability to give physical forms to digital information, to understand and manipulate physical and material objects. Considering the specific characteristics of TUI, this study analyzes whether the evaluation methods used previously correspond in the same way in this context. Therefore, the goal of this paper is to present results of the analysis of 50 articles that use methodology and/or evaluation tools used in TUI of the last 5 years. Through the Systematic Literature Review (SLR) **methodology**, it is possible to identify the evaluation approaches used, the instruments and the genres of these applications. From this, the state of the art was defined on the evaluation processes of TUI, contributing to the information base for proposing new evaluation methodologies that respect the particularities of the tangible interaction.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **HCI design and evaluation methods**;

KEYWORDS

Human Computer Interaction, Methodology and evaluation tools, Tangible User Interface

ACM Reference Format:

Vinicius Kruger da Costa, Ana Priscila Valerão de Vasconcellos, Natalia Toralles Darley, and Tatiana Aires Tavares. 2018. Methodologies and Evaluation Tools Used in Tangible User Interfaces: A Systematic Literature Review. In *17th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC 2018)*, October 22–26, 2018, Belém, Brazil. ACM, New York, NY, USA, 9 pages. <https://doi.org/10.1145/3274192.3274223>

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.

IHC 2018, October 22–26, 2018, Belém, Brazil

© 2018 Association for Computing Machinery.

ACM ISBN 978-1-4503-6601-4/18/10...\$15.00

<https://doi.org/10.1145/3274192.3274223>

1 INTRODUÇÃO

A Interação Humano-Computador (IHC) é uma área multidisciplinar que se preocupa em oferecer diretrizes projetuais aos desenvolvedores que criam suas aplicações de forma a suprir as necessidades e expectativas dos usuários. Com isso a IHC compreende o projeto, a implementação e a avaliação da interação entre os seres humanos e os sistemas computacionais [39].

Durante o processo de avaliação, especificamente, é realizada uma validação da aplicação do ponto de vista do usuário e, dependendo da aplicação que se pretende avaliar, é escolhida uma metodologia de análise. Dentro da literatura da área são apresentadas algumas abordagens gerais de avaliações que focam na Usabilidade e/ou de Experiência de Usuário e/ou na Comunicabilidade [46].

A **Usabilidade** tem por objetivo avaliar como é dada a comunicação entre o usuário e o sistema. Ou seja, identificar quão fácil e rápido é para o usuário entender a aplicação, interagir com ela, avaliar a eficácia da interface na execução de tarefas e avaliar como o sistema e o usuário reagem caso ocorra qualquer tipo de erro [50], por sua vez, a **Experiência de Usuário** é uma abordagem que avalia não só a usabilidade do sistema, como também os sentimentos e percepções do usuário durante o processo de utilização e experimentação de uma determinada aplicação. Já a **Comunicabilidade** [45] é uma abordagem desenvolvida no Brasil, a qual privilegia a participação direta dos usuários na identificação de falhas de comunicação de um projeto de interface no tempo de interação, através do mapeamento de determinadas expressões verbais.

Hoje as abordagens e instrumentos de avaliação das Interfaces dos Usuários (IU) dos dispositivos de uso cotidiano, como por exemplo, *smartphones* e computadores, são baseadas em Interfaces Gráficas do Usuário (*Graphical User Interface* - GUI), onde a interação se dá através da tela, com elementos gráficos acionados através do toque ou de dispositivos auxiliares para controlar o apontador como o mouse e o teclado.

Por outro lado, as aplicações baseadas em Interfaces Tangíveis do Usuário (*Tangible User Interfaces* - TUI), a diferença é a presença de objetos físicos como elementos 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.

Portanto, se em uma TUI o elemento físico é o dispositivo de entrada e saída de dados da interface, pode-se presumir que o processo de interação seja mais intuitivo e natural para o usuário por utilizar a analogia do mundo real [30].

Visto que a forma de interagir em uma aplicação de TUI é diferente de uma GUI, infere-se que os métodos de avaliação utilizados de forma regular atualmente para interfaces gráficas comuns, podem não se adequar totalmente para a avaliação de uma aplicação tangível, cenário relativamente novo de aplicação, deixando de ser a avaliação mais indicada para esse caso específico.

Consideradas as informações previamente descritas, este trabalho propõe-se a apresentar um processo de Revisão Sistemática da Literatura, no qual buscou-se encontrar estudos publicados nos últimos cinco anos, que se empenharam em avaliar aplicações de TUIs, analisando os métodos e ferramentas aplicados para a realização dessas avaliações e, com isso, contribuir para a proposta de novas metodologias que objetivem avaliar as aplicações de interfaces tangíveis, considerando as suas devidas particularidades.

Nas próximas seções serão contemplados os conteúdos necessários ao entendimento da pesquisa desenvolvida no presente artigo, tais como uma contextualização sobre as Interfaces tangíveis do usuário, assim como os métodos avaliativos de interfaces já utilizados nessas e em outras aplicações. Posteriormente será apresentada a Metodologia, com o protocolo da Revisão Sistemática de Literatura, escolhida para o desenvolvimento do trabalho. Por fim, serão apresentados e discutidos os resultados de aplicação da RSL, com contribuições referentes ao entendimento do cenário atual dessa área de pesquisa, com bases teóricas que possam ser utilizadas na proposição de novos modelos de avaliações apropriadas a ambientes em que o tangível esteja inserido.

2 INTERFACES DO USUÁRIO TANGÍVEIS: CARACTERÍSTICAS E GÊNEROS DE APLICAÇÃO

O avanço das tecnologias permitiram o surgimento de dispositivos que detectam elementos e situações do ambiente, proporcionando o desenvolvimento de interfaces mais dinâmicas. Segundo [30], 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 informação digital através de uma forma física. Em TUIs os elementos físicos e os elementos virtuais quase não têm distinção, tornando a tecnologia praticamente invisível.

O diferencial da interface tangível é a presença do elemento físico como meio de interação. Neste tipo de interface os usuários podem manipular objetos de forma a trocar sua posição e seu formato. A interface tangível se situa entre o mundo físico e o digital, 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 [30].

O fato de ser possível interagir com elemento físico torna a interação mais intuitiva e natural, visto que não há necessidade de conhecimento prévio dessa forma de interação. Além disso, também é possível de ser realizada a manipulação da aplicação de forma colaborativa, onde um grupo de pessoas podem manipular os elementos de interação simultaneamente a fim de realizar tarefas independentes ou em conjunto.

Existem diferentes gêneros de aplicação [30] 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.

3 AVALIAÇÕES DE INTERFACES DO USUÁRIO: ABORDAGENS E INSTRUMENTOS

Um dos focos da área de IHC é o processo de avaliação de interfaces. Este momento auxilia o desenvolvedor a encontrar falhas no sistema além de ser uma forma de validar o ponto de vista do usuário final.

Na literatura existem diferentes metodologias de avaliação, tais como:

- **Comunicabilidade:** tem por objetivo avaliar a comunicação entre a aplicação (ou o que o desenvolvedor tinha como expectativa de mostrar com um certo elemento da aplicação) e o usuário, avaliar o entendimento de uma mensagem para o usuário. Nesse processo O usuário faz uso da aplicação enquanto é observado pelos avaliadores e expressões, tais como, "onde estou?" e "o que é isso?" são captadas durante essa avaliação [45].
- **Usabilidade:** tem foco em avaliar o funcionamento da aplicação do ponto de vista do usuário, então são avaliados os seguintes fatores: (i) o usuário conseguiu interagir com o sistema aprendendo suas funcionalidades, (ii) o usuário conseguiu encontrar suas funcionalidades de acordo com sua necessidade, (iii) o usuário conseguiu lembrar e repetir uma tarefa, (iv) o usuário não cometeu erros ou caso tenha cometido, ele conseguiu resolver e (v) o usuário esteve satisfeito com o sistema [41].
- **Experiência de Usuário:** 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 leva em conta a interação do usuário com a aplicação como um inteiro, avaliando pensamentos e sentimentos do usuário [1].

Para mensurar estas avaliações diversos instrumentos são utilizados, podendo estes serem quantitativos e/ou qualitativos. Os resultados obtidos são agrupados, com posterior análise dos dados a fim de extrair conclusões a respeito do que se pretendeu avaliar e/ou validar na aplicação. Algumas metodologias de avaliação são:

- Entrevista: o avaliador faz uma série de perguntas para usuário a fim de relatar como foi sua experiência ao utilizar a aplicação, durante o andamento da entrevista também podem surgir outras questões a serem abordadas;
- Questionário: após o usuário fazer uso da aplicação, é passado um questionário com um conjunto de perguntas podendo ser para respostas descritivas ou em escala entre dois adjetivos opostos (gostei-não gostei/concordo-discordo);
- Observação: o usuário é vigiado enquanto faz uso da aplicação, podendo ser gravado para análise posterior, nesse método é possível capturar o comportamento e as habilidades do usuário;
- Pense Alto: o avaliador toma nota de expressões que o usuário manifestou enquanto fez uso da aplicação.

Para cada tipo de metodologia de avaliação é possível usar um ou mais instrumentos de avaliação, como para Comunicabilidade pode-se utilizar Observação e Pense Alto, e para Usabilidade e Experiência de Usuário pode-se utilizar Entrevista, Questionário, Observação e Pense Alto. A escolha do instrumento de avaliação fica à critério dos desenvolvedores.

4 METODOLOGIA

Utilizou-se o método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) [43] como base para o delimitação deste estudo de análise dos métodos/ferramentas de avaliação empregados em TUIs.

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 [21].

Para melhor sistematização dessa RSL utilizou-se como ferramenta o software StArt (*State of the Art through Systematic Review*)¹ [20], 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.

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 elencaram-se 3 perguntas gerais a serem respondidas nos artigos levantados:

- (a) Quais as abordagens utilizadas na avaliação de TUIs?
- (b) Quais são os instrumentos/ferramentas elencados para cumprir o objetivo proposto na avaliação dessas TUIs?
- (c) Qual o gênero de aplicação TUI [30] avaliado no artigo em análise?
- (d) Qual o 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:

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

("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*²;
- *IEEE Xplore Digital Library*³;
- *Science Direct*⁴;
- *Springer*⁵.

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 necessárias adaptações a cada um deles.

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.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 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.

Esta coleção bruta de artigos foi submetida ao primeiro filtro previsto, no qual o grupo de pesquisadores realizou uma triagem analisando: título, palavras-chave e resumo dos trabalhos. Para efetuar esta seleção, foram utilizados critérios de exclusão e inclusão de artigos, estabelecidos na definição do protocolo RSL, resultando num subconjunto de **86 artigos**.

²<http://dl.acm.org>

³<http://ieeexplore.ieee.org>

⁴<http://www.sciencedirect.com>

⁵<http://link.springer.com/>

Tabela 1: Distribuição dos artigos encontrados em cada MBA

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

O segundo ciclo de filtragem envolveu os três pesquisadores com a leitura completa dos artigos para identificação de respostas as questões pesquisa elencadas anteriormente no protocolo. A intenção desta etapa foi caracterizar os trabalhos dentro do eixo principal previamente estabelecido, eliminando artigos sem contribuições gerais, mas que tivessem sido aceitos durante o primeiro filtro individual de cada pesquisador. Desse modo o conjunto final elencado nessa RSL compreende o total de **50 artigos**.

De modo ilustrativo a Figura 1 mostra uma representação gráfica em formato de nuvem de *tags* com as palavras mais recorrentes que foram utilizadas nos títulos dos artigos finais referenciados. Palavras como *tangible*, *children*, *collaborative*, *design*, *evaluation*, demonstram algumas características bem específicas das aplicações retornadas nesses artigos referentes ao perfil de usuários da aplicação, características das TUIs e do projeto e avaliação desses sistemas.

Esses **50 artigos** apresentaram uma distribuição relativamente uniforme de publicação através dos anos, dentro do universo proposto pelo protocolo do RSL (2013 a 2018) sendo: 7 em 2013, 9 em 2014, 12 em 2015, 8 em 2016, 11 em 2017 e 3 em 2018. Percebe-se, desse modo, que é recorrente a publicação de resultados científicos e o interesse nas pesquisas com aplicações em TUIs, 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 TUIs?

Como demonstrado na Figura 2, 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.

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 [41].

Os artigos listados que trabalham com abordagem focada em usabilidade são: [10], [7], [22], [53], [36], [29], [13], [6], [38], [40], [8], [2], [31], [16], [11], [28], [32], [27], [12], [37], [47], [54], [23], [48], [42], [52], [51] e [62].



Figura 1: Nuvem de *tags* com as palavras mais recorrentes nos títulos dos artigos finais selecionados.

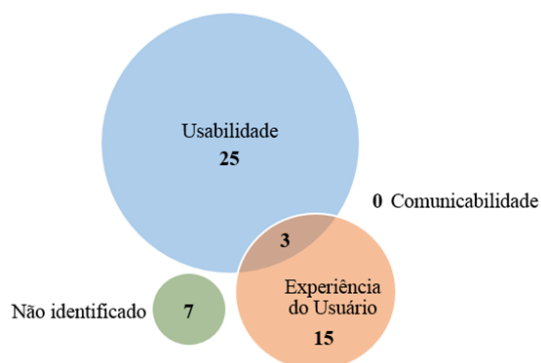


Figura 2: Abordagens de avaliação utilizadas nos artigos selecionados

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 e 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 [9].

Esses são os artigos listados que trabalham com abordagem focada em Experiência do Usuário: [36], [26], [61], [18], [56], [57], [8], [24], [19], [58], [60], [14], [59], [33], [51] e [3].

Sete artigos apresentaram testes que não permitiram uma categorização sobre a abordagem de avaliação utilizada, sendo que a maioria destes aplicou somente testes funcionais de validação de uso das tecnologias desenvolvidas: [35], [34], [49], [5], [44], [4], [55].

Nenhum dos trabalhos listados utilizou a abordagem da **Comunicabilidade** durante a aplicação dos processos de avaliação das TUIs.

Dos artigos listados, três deles [36] [8] [51] conjugaram a abordagem de Usabilidade e de Experiência de Usuário, utilizando como ferramenta principal de avaliação um questionário.

O artigo [36] 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 TUIs?

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 utilizadas na aplicação das avaliações retornadas nos artigos da RSL.

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

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

O gráfico representativo na Figura 3 tenta relacionar as abordagens de avaliação empregadas em relação a ocorrência das ferramentas ou instrumentos utilizados para o cumprimento dos objetivos propostos.

As entrevistas normalmente foram utilizadas de forma semi estruturada, com algumas perguntas chaves e outras livres, com o objetivo de avaliar a forma como um determinado grupo de usuários se sentiu com relação a execução de determinadas tarefas na aplicação usando a TUI, ou em como eles se sentiram em termos de experiência de usuário.

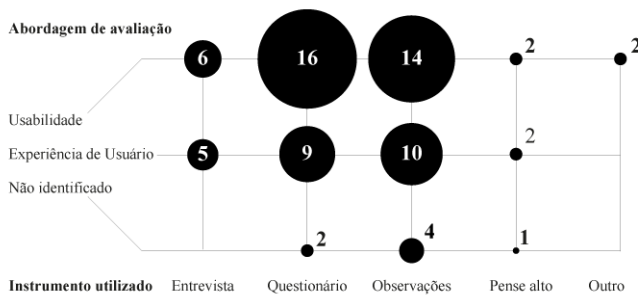


Figura 3: Abordagens de avaliação vs. Instrumentos de avaliação apresentados nos artigos selecionados

Um exemplo de uso desse instrumento decorreu do artigo [8], no qual o objetivo da aplicação foi melhorar as condições de aprendizagem de crianças com dislexia e transtorno de atenção manipulando objetos em uma 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 [33], [29] e [23] 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 TUIs, foi realizado em 2015.

Mesmo sendo relevantes, as entrevistas tiveram uma ocorrência bem menor de utilização nos artigos selecionados do que o 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) [15] que permite mensurar o nível de usabilidade de uma aplicação, utilizado em [16] e também em [23] em conjunto com o grupo focal. Outro modelo de questionário recorrente foi o AttrackDiff [25], que tem por objetivo ser um instrumento de medição da atratividade de produtos interativos e da relação dos mesmos com a experiência que os usuários tiveram. Esse instrumento foi utilizado em [36], [51] e [17].

A técnica de observação foi a mais referenciada nos artigos finais selecionados. A representação do gráfico da Figura 3 dá indícios que existe uma relação de uso desse instrumento de forma complementar ao uso de questionários. Isso se justifica na medida em que questionários focam em percepções geradas pelos usuários, enquanto as observações são organizadas por especialistas e mediadores do processo de avaliação.

Um exemplo disso é o artigo [57] que utilizou os conceitos de "gamificação" para o ensino de história a estudantes do ensino fundamental com uso de uma aplicação de realidade aumentada em uma TUI. Nesse trabalho Utilizou-se um questionário avaliativo do processo de interação com os alunos e realizou-se a observação direta do 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 [30] 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 [17] - 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 [7] que desenvolveu uma TUI voltada ao controle de um brinquedo com uso de uma rede de sensores que captam os movimentos dos usuários, gerando o *feedback* disso no objeto físico boneco.

(d) Qual o público alvo principal envolvido no processo de avaliação?

Grande parte das soluções com TUIs desenvolvidas é direcionada a contextos educacionais e de estímulo e colaboração para o aprendizado. Nesse sentido as crianças ganham relevância tanto na ocorrência do uso da palavra no título dos artigos (Figura 1) como também de perfil de usuário para avaliações nos testes das aplicações.

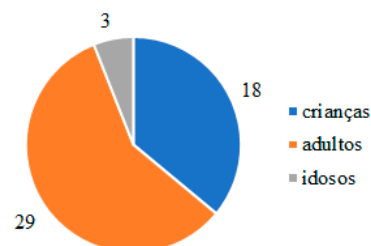


Figura 4: Público alvo das aplicações TUI nos artigos referenciados na RSL e que participaram do processo de avaliação.

Diversas dessas soluções tentam conjugar conceitos de jogos eletrônicos a processos de aprendizagens, como já citado em [57] ou em [8], com a proposição de uma ferramenta com uso de TUI para o ensino de geometria.

O cenário de contexto de avaliação envolvendo adultos prevalece, sendo que nesse sentido 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 o exemplo executado em [23], que propõe uma aplicação de uso colaborativo numa mesa interativa para o planejamento de rotas logísticas em grandes centros urbanos.

Somente 3 artigos [53][18] [27] referenciam o uso de público idoso como perfil de usuário nos testes. Nesse caso, foram utilizadas aplicações de uso específico com preocupação acerca de questões próprias dessa faixa etária, tal como uma melhor forma de visualização de dados para o auxílio no uso de medicação, proposto em [53], por exemplo.

5.2 Discussão

Com base nos resultados gerados pela aplicação da RSL, pode-se gerar algumas observações sobre o uso dos processos de avaliação aplicados a TUIs.

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 aos 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 utilizados. 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 TUIs, 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 das mãos dos usuários, disposição e iluminação do ambiente, design dos elementos e uso de materiais mais adequados para aquele tipo de interação, etc., contudo, nenhuma avaliação considerou essas particularidades ou 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 TUIs 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 TUIs. 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). 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 TUIs.

Pode-se, também, apartir da análise geral dos artigos referenciados na RSL, gerar categorias baseadas nos objetivos propostos pelos seus processos avaliativos:

- **Comparação entre interfaces do usuário:** visam comparar o uso de interfaces ditas tradicionais, tal como GUI, em relação ao uso de TUI, avaliando quais os ganhos/benefícios no uso da interação tangível. Normalmente utilizam os mesmos instrumentos já tradicionais de avaliação, com critérios desenvolvidos para GUI, aplicados em um uso novo com TUI, tendo questionários e usabilidade como foco;
- **Interação colaborativa:** sabe-se que as TUI tem como característica principal privilegiar o processo de interação colaborativo, em um determinado espaço físico. Esse grupo de artigos tenta justamente avaliar se essa característica das TUIs potencializa uma determinada experiência de usuário em uma aplicação que necessite mais desse processo de colaboração. Privilegia-se nesses casos o uso de abordagens e instrumentos de avaliação como grupos focais, observações e questionários de experiência do usuário;
- **Ferramentas de educação:** tem por objetivo propor soluções a partir de ferramentas com foco no processo de ensino/aprendizagem para crianças e jovens. São de contextos específicos e apresentaram uma variação nos instrumentos de

avaliação, justamente pela complexidade inerente a aplicação de questionários estruturados com crianças.

Esses grupos de categorização ajudam na compreensão de que os testes tem diversas propostas de solução. O modo como o objetivo é colocado no processo avaliativo impacta na prescrição do próprio método e isso deve ser considerado também na criação de metodologias específicas que envolvam as TUIs.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É necessário que sejam entendíveis todos os elementos presentes no processo de interação tangível com o usuário e qual o impacto de cada um deles no ato de projetar e usar uma TUI. Com isso, como base é de suma importância que sejam contempladas essas variáveis nos processos de avaliação, algo que no momento a RSL demonstrou não existir.

Considerando os resultados obtidos até o presente momento, podemos influir que mesmo com a grande demanda de trabalhos publicados durante os últimos cinco anos, que se preocuparam em avaliar as interfaces tangíveis, os métodos de avaliação empregados até então, possuem semelhanças, ou ainda, derivam-se de métodos tradicionais a partir da avaliação de Interfaces gráficas, cotidianas ao usuário. Isso nos mostra que nem todas as particularidades das TUIs estão sendo levadas em consideração nesse processo de avaliação, o que dá início a uma discussão a fim de descobrir quais as melhores estratégias poderiam ser utilizadas para a avaliação das interfaces tangíveis afim de corroborar com a precisão necessária a delimitação de resultados.

Nesse sentido, a pesquisa desenvolvida até aqui também enfatiza a necessidade de conclusões mais práticas, ou seja, a comprovação dos resultados apresentados, indo ao encontro das proposições de métodos avaliativos que surgem dessa Revisão Sistemática da Literatura. Portanto, com os dados já obtidos, como trabalho futuro, o grupo pretende desenvolver projetos com o fim de consolidar os métodos considerados já eficazes, e também, de encontrar outras soluções que possam ser aplicadas de forma particular à avaliação das interfaces tangíveis de usuário.

REFERÊNCIAS

- [1] William Albert and Thomas Tullis. 2013. *Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics*. Newnes.
- [2] Wafa Almkadi and Guy A Boy. 2016. Enhancing Collaboration and Facilitating Children's Learning Using TUIs: A Human-Centered Design Approach. In *International Conference on Learning and Collaboration Technologies*. Springer, 105–114.
- [3] Tarfah Alrashed, Almaha Almalki, Salma Aldawood, Tariq Alhindi, Ira Winder, Ariel Noyman, Anas Alfaris, and Areej Alwabil. 2015. An observational study of usability in collaborative tangible interfaces for complex planning systems. *Procedia Manufacturing* 3 (2015), 1974–1980.
- [4] Dimitra Anastasiou, Valérie Maquil, and Eric Ras. 2014. Gesture analysis in a case study with a tangible user interface for collaborative problem solving. *Journal on Multimodal User Interfaces* 8, 3 (2014), 305–317.
- [5] Dimitra Anastasiou and Eric Ras. 2016. Case Study Analysis on Collaborative Problem Solving Using a Tangible Interface. In *International Computer Assisted Assessment Conference*. Springer, 11–22.
- [6] Leonardo Angelini, Maurizio Caon, Francesco Carrino, Stefano Carrino, Denis Lalanne, Omar Abou Khaled, and Elena Mugellini. 2013. WheelSense: Enabling tangible gestures on the steering wheel for in-car natural interaction. In *International Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, 531–540.
- [7] Marc Antonijoan and David Miralles. 2016. Tangible Interface for Controlling Toys-To-Life Characters Emotions. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '16)*. ACM, New York, NY, USA, 2387–2394. <https://doi.org/10.1145/2851581.2892330>
- [8] Andrés Ayala, Graciela Guerrero, Juan Mateu, Laura Casades, and Xavier Alamán. 2015. Virtual Touch FlyStick and PrimBox: two case studies of mixed reality for teaching geometry. In *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*. Springer, 309–320.
- [9] Simone Diniz Junqueira Barbosa and Bruno Santana Silva. 2010. *Interação Humano-Computador*. Campus Elsevier, Rio de Janeiro.
- [10] Lonni Besançon, Paul Issartel, Mehdi Ammi, and Tobias Isenberg. 2017. Mouse, Tactile, and Tangible Input for 3D Manipulation. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, New York, NY, USA, 4727–4740. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025863>
- [11] Rachel Blagojevic and Beryl Plimmer. 2013. CapTUI: geometric drawing with tangibles on a capacitive multi-touch display. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, 511–528.
- [12] Clara Bonillo, Sandra Baldassarri, Javier Marco, and Eva Cerezo. 2017. Tackling developmental delays with therapeutic activities based on tangible tabletops. *Universal Access in the Information Society* (2017), 1–17.
- [13] Clara Bonillo, Eva Cerezo, Javier Marco, and Sandra Baldassarri. 2016. Designing Therapeutic Activities Based on Tangible Interaction for Children with Developmental Delay. In *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. Springer, 183–192.
- [14] Amira Bouabid, Sophie Lepreux, and Christophe Kolski. 2017. Design and evaluation of distributed user interfaces between tangible tabletops. *Universal Access in the Information Society* (2017), 1–19.
- [15] John Brooke et al. 1996. SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry* 189, 194 (1996), 4–7.
- [16] Anders Bruun, Kenneth Jensen, and Dianna Kristensen. 2014. Usability of Single- and Multi-factor Authentication Methods on Tabletops: A Comparative Study. In *International Conference on Human-Centred Software Engineering*. Springer, 299–306.
- [17] Natalia Toralles Darley, Tatiana Aires Tavares, Vinicius Costa, Gilberto Collares, and Viviane Terra. 2017. Tangible Interfaces : An Analysis of User Experience Using the AR Sandbox Project. In *XVI Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems IHC 2017*.
- [18] Robin De Croon, Bruno Cardoso, Joris Klerkx, Vero Vanden Abeele, and Katrien Verbert. 2017. MeViTa: Interactive Visualizations to Help Older Adults with Their Medication Intake Using a Camera-Projector System. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, 132–152.
- [19] Jonathan Duckworth, Nick Mumford, Karen Caeyenberghs, Ross Eldridge, Scott Mayson, Patrick R Thomas, David Shum, Gavin Williams, and Peter H Wilson. 2015. Resonance: an interactive tabletop artwork for co-located group rehabilitation and play. In *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. Springer, 420–431.
- [20] Sandra Fabbri, Cleiton Silva, Elis Hernandes, Fábio Octaviano, André Di Thomaz, and Anderson Belgamo. 2016. Improvements in the StArt Tool to Better Support the Systematic Review Process. In *Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE '16)*. ACM, New York, NY, USA, Article 21, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/2915970.2916013>
- [21] K.R. Felizardo, E. Y. Nakagawa, S. C. P. F. Fabbri, and F. C. Ferrari. 2017. *Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software* (1ª ed.). Elsevier, Rio de Janeiro.
- [22] Fernando Garcia-Sanjuan, Javier Jaen, Vicente Nacher, and Alejandro Catala. 2015. Design and evaluation of a tangible-mediated robot for kindergarten instruction. In *Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. ACM, 3.
- [23] Cindy Guerlain, Stéphane Cortina, and Samuel Renault. 2016. Towards a collaborative Geographical Information System to support collective decision making for urban logistics initiative. *Transportation Research Procedia* 12 (2016), 634–643.
- [24] Apurva Gupta, Aditi Padhi, Keyur Sorathia, Surbhit Varma, and Bhasker Sharma. 2014. MuBiks: Tangible Music Player for Visually Challenged. In *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. Springer, 346–356.
- [25] Marc Hassenzahl, Michael Burmester, and Franz Koller. 2003. AttraktDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. *Mensch & Computer* 2003 (2003), 187–196.
- [26] Gaoqi He, Fei Sun, Dong Hu, Xingjian Lu, Yi Guo, Shuhua Lai, and Zhigeng Pan. 2016. ARDock: A Web-AR Based Real-Time Tangible Edugame for Molecular Docking. In *International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*. Springer, 37–49.
- [27] Zheng-Yu Hoe, I-Jui Lee, Chien-Hsu Chen, and Kuo-Ping Chang. 2017. Using an augmented reality-based training system to promote spatial visualization ability for the elderly. *Universal Access in the Information Society* (2017), 1–16.
- [28] Masahiro Hotta, Makoto Oka, and Hirohiko Mori. 2014. Liquid Tangible User Interface: Using Liquid in TUI. In *International Conference on Human Interface and the Management of Information*. Springer, 167–176.
- [29] Dan Ionita, Roel Wieringa, Jan-Willem Bullee, and Alexandr Vasenev. 2015. Tangible modelling to elicit domain knowledge: an experiment and focus group. In *International Conference on Conceptual Modeling*. Springer, 558–565.

- [30] Hiroshi Ishii. 2008. Tangible bits: beyond pixels. *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08)* (2008), xv–xxv. <https://doi.org/10.1145/1347390.1347392>
- [31] Janio Jadán-Guerrero, Gustavo López, and Luis A Guerrero. 2014. Use of Tangible Interfaces to Support a Literacy System in Children with Intellectual Disabilities. In *International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*. Springer, 108–115.
- [32] Catherine Emma Jones and Valérie Maquil. 2016. Towards Geospatial Tangible User interfaces: An observational user study exploring geospatial interactions of the novice. In *Geographical Information Systems Theory, Applications and Management*. Springer, 104–123.
- [33] Tai-Hua Lee, Fong-Gong Wu, and Huei-Tsz Chen. 2017. Innovation & evaluation of tangible direct manipulation digital drawing pens for children. *Applied ergonomics* 60 (2017), 207–219.
- [34] Anna Helen Leversund, Aleksander Krzywinski, and Weiqin Chen. 2014. Children’s Collaborative Storytelling on a Tangible Multitouch Tabletop. In *International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*. Springer, 142–153.
- [35] Nico Li, Wesley Willett, Ehud Sharlin, and Mario Costa Sousa. 2017. Visibility perception and dynamic viewsheds for topographic maps and models. In *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*. ACM, 39–47.
- [36] Paul Lubos, Oscar Ariza, Gerd Bruder, Florian Daiber, Frank Steinicke, and Antonio Krüger. 2015. HoverSpace. In *Human-Computer Interaction*. Springer, 259–277.
- [37] Valérie Maquil, Ulrich Leopold, Luis Moreira De Sousa, Lou Schwartz, and Eric Tobias. 2018. Towards a framework for geospatial tangible user interfaces in collaborative urban planning. *Journal of Geographical Systems* (2018), 1–22.
- [38] Valérie Maquil, Eric Tobias, and Thibaud Latour. 2015. Tangible Voting: A Technique for Interacting with Group Choices on a Tangible Tabletop. In *Human-Computer Interaction*. Springer, 79–86.
- [39] Shaun Marsh. 1990. Human Computer Interaction: An Operational Definition. *SIGCHI Bull.* 22, 1 (June 1990), 16–22. <https://doi.org/10.1145/101288.101291>
- [40] Simone Mora, Ines Di Loreto, and Monica Divitini. 2015. The interactive-token approach to board games. In *European Conference on Ambient Intelligence*. Springer, 138–154.
- [41] Jakob Nielsen. 1994. *Usability engineering*. Elsevier.
- [42] Hyungjun Park and Hee-Cheol Moon. 2013. Design evaluation of information appliances using augmented reality-based tangible interaction. *Computers in Industry* 64, 7 (2013), 854–868.
- [43] Kai Petersen, Robert Feldt, Shahid Mujtaba, and Michael Mattsson. 2008. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. In *EASE*, Vol. 8. 68–77.
- [44] Gonzalo Pomboza-Junez, Juan A Holgado-Terriza, and Nuria Medina-Medina. 2017. Toward the gestural interface: comparative analysis between touch user interfaces versus gesture-based user interfaces on mobile devices. *Universal Access in the Information Society* (2017), 1–20.
- [45] Raquel O Prates, Clarisse S de Souza, and Simone DJ Barbosa. 2000. Methods and tools: a method for evaluating the communicability of user interfaces. *interactions* 7, 1 (2000), 31–38.
- [46] Jenny Preece, Yvonne Rogers, and Helen Sharp. 2013. *Design de Interação - 3ed*. Bookman Editora.
- [47] Theodosios Sapounidis and Stavros Demetriadis. 2013. Tangible versus graphical user interfaces for robot programming: exploring cross-age children’s preferences. *Personal and ubiquitous computing* 17, 8 (2013), 1775–1786.
- [48] Dong Woo Seo and Jae Yeol Lee. 2013. Physical query interface for tangible augmented tagging and interaction. *Expert Systems with Applications* 40, 6 (2013), 2032–2042.
- [49] Yang Ting Shen and Pei Wen Lu. 2014. BlowBrush: A Design of Tangible Painting System Using Blowing Action. In *International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*. Springer, 184–195.
- [50] Ben Shneiderman. 2010. *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Pearson Education India.
- [51] Alexander Skulmowski, Simon Pradel, Tom Kühnert, Guido Brunnett, and Günter Daniel Rey. 2016. Embodied learning using a tangible user interface: the effects of haptic perception and selective pointing on a spatial learning task. *Computers & Education* 92 (2016), 64–75.
- [52] Hsiao-Han Sun and Fong-Gong Wu. 2015. Applied Motion Analysis on TUI Design for Lovers Cooking Together. *Procedia Manufacturing* 3 (2015), 6258–6265.
- [53] Hiroshi Suzuki, Hisashi Sato, and Haruo Hayami. 2014. “Make Your Own Planet”: Workshop for Digital Expression and Physical Creation. In *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*. Springer, 116–123.
- [54] Cristina Sylla, Clara Coutinho, Pedro Branco, and Wolfgang Müller. 2015. Investigating the use of digital manipulatives for storytelling in pre-school. *International Journal of Child-Computer Interaction* 6 (2015), 39–48.
- [55] Kazuki Tada and Jiro Tanaka. 2015. Tangible programming environment using paper cards as command objects. *Procedia Manufacturing* 3 (2015), 5482–5489.
- [56] Tiara Tzyy Li Teh, Kher Hui Ng, and Behrang Parhizkar. 2015. Tracell: an air tracing reading tool for children with dyslexia. In *International Visual Informatics Conference*. Springer, 356–366.
- [57] Iliana Triantafyllidou, Athina-Maria Chatzitsakiroglou, Stergiani Georgiadou, and George Palaigeorgiou. 2017. FingerTrips on Tangible Augmented 3D Maps for Learning History. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning*. Springer, 465–476.
- [58] Marieke Van Camp, Lukas Van Campenhout, and Guido De Bruyne. 2017. 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*. Springer, 16–24.
- [59] Jeppe U Walther, J Andreas Bærentzen, and Henrik Aanæs. 2016. Tangible 3D modeling of coherent and themed structures. *Computers & Graphics* 58 (2016), 53–65.
- [60] Danli Wang, Liang He, and Keqin Dou. 2014. StoryCube: supporting children’s storytelling with a tangible tool. *The Journal of Supercomputing* 70, 1 (2014), 269–283.
- [61] Nesra Yannier, Kenneth R Koedinger, and Scott E Hudson. 2013. Tangible collaborative learning with a mixed-reality game: Earthshake. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Springer, 131–140.
- [62] Oren Zuckerman and Ayelet Gal-Oz. 2013. To TUI or not to TUI: Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies* 71, 7–8 (2013), 803–820.

ANEXO C THE POTENTIAL OF USER EXPERIENCE (UX) AS AN APPROACH OF EVALUATION IN TANGIBLE USER INTER- FACES (TUI)

The Potential of User Experience (UX) as an approach of evaluation in Tangible User Interfaces (TUI)

Vinicius Krüger da Costa, Andréia Sias Rodrigues, Lucas Barreiro Agostini, Marcelo Bender Machado, Natália Toralles Darley, Rafael da Cunha Cardoso, and Tatiana Aires Tavares

Pós Graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) e Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), Pelotas, RS, Brazil
{viniciusdacosta, andreia.sias, lbagostini, ntdarley, mb.machado, rc.cardoso, tatianatavares}@inf.ufpel.edu.br
<http://www.ufpel.edu.br>

Abstract. The objective of this paper is to present the potential of using UX as the main evaluation approach in TUI, starting from results of a Systematic Review of Literature (SRL), in which it found other studies published in the last five years that evaluate TUI applications, analyzing the methods and tools used to perform them, relating these with an experiment of evaluation at AR Sandbox application, discuss in order to contribute of the proposal of new methodologies that aim to evaluate the applications of tangible interfaces, considering their due particularity.

Keywords: Tangible User Interface; Evaluation; User Experience

1 Introduction

Human-Computer Interaction (HCI) is a multidisciplinary area that is concerned with providing design guidelines to developers who create applications to users needs and expectations. In this process, the HCI includes the **project**, the **implementation**, and **evaluation** of the interaction between users and the computer systems [40].

The evaluation is specifically performed for validation of the application from the user's point of view and, depending on the type of interface, an analysis methodology is chosen. The literature presented some approaches of evaluations that focus on **Usability** and **User Experience** [44].

Usability aims to evaluate how the communication between the user and the system is. How easy and quick it is for the user to understand the application, interact with it, evaluate the effectiveness of the User Interface (UI) in execution tasks, and how the system and the user react to an error [48]. Then **User Experience** is an approach that evaluates not only the usability of the system but the user's feelings and perceptions.

UI evaluation approaches for everyday devices, such as smartphones and computers, are based on **Graphical User Interface (GUI)**, where interaction occurs through the screen, with graphic elements manipulated by touch, or auxiliary devices such as the mouse and the keyboard [44].

The difference for the applications based on **Tangible User Interfaces (TUI)** is the presence of physical objects as elements of interaction. In a scenario of tangible interactions, there is the object and a set of movements or actions that the user can perform with this physical element that recognizes this interaction and reacts visually or about the object itself or the environment [30].

Hence, if in a TUI the physical element is the input and output device of the interface, it can be assumed that the interaction process is more intuitive and natural for the user with a real-world analogy [29].

Interacting in a TUI application is different from a GUI, it is suggested that the evaluation methods currently used regularly for common graphical interfaces may not fit fully into the evaluation of a tangible application.

The objective of this paper is to present the potential of using UX [57] as the main evaluation approach in TUI, starting from results of a Systematic Review of Literature (SRL), in which it found other studies published in the last five years that evaluate TUI applications, analyzing the methods and tools used to perform them, relating these with an experiment of evaluation at AR Sandbox application, discuss in order to contribute to the proposal of new methodologies that aim to evaluate the applications of tangible interfaces, considering their due particularity.

Next section presents a theoretical background about Tangible Interaction, Evaluation Methods and Tools; Section 3 presents and discusses the results of the Systematic Review of Literature (SRL) about Evaluation Methods and Tools used in TUI applications; Section 4 describes a practical experiment of TUI application evaluation using AR Sandbox; and Section 5 discusses the results and main contribution of this article which is to show the potential of the UX approach to evaluation in TUI.

2 Tangible Interaction, Evaluation Methods and Tools

The development of TUI applications is a new process and recent research is emerging that discusses a way to evaluate this type of interface. Usually, the methods that are being applied for the development of TUIs are the same methods for UI already used in daily life. Therefore, it is probably that there are specific evaluation criteria for tangible interfaces, since this is an unconventional approach to human-computer communication.

Tangible Interaction is a term suggested by Hornecker and Buur to present a comprehensive field than TUI, considering social interaction through tangible applications, thus including the issue of interaction with the environment and body gesticulation [26].

[31] brought the term Reality-Based Interaction to conceptualize new user interaction styles for user skills. This context suggests that interaction with digital information is closer to interaction with the real world.

Reality-Based Interaction has four concepts:

- **Intuitive Physics:** the user's perception of the real world;
- **Body consciousness:** the user's notion of his body and the ability to coordinate his gestures;
- **Environmental awareness:** the user's perception of the environment around him and his ability to interact with it;
- **Social understanding:** the perception that the user has with other users in the same environment, the communication between them and the ability to perform tasks together to achieve the same goal.

In the literature, there are already different approaches and evaluation tools that could measure these concepts of Reality-Based interaction in TUI applications. Several instruments are used, which can be quantitative and/or qualitative. The obtained results are grouped, with an analysis in order to discuss some conclusions about what was intended to be evaluated and/or validated at the application.

Some evaluation instruments are:

- **Interview:** the evaluator asks a user a series of questions in order to understand how his experience was when using the application; during the course of the interview other issues may also be addressed;
- **Questionnaire:** After the user makes use of the application, a questionnaire is applied with a set of questions that can be for descriptive or scaled answers between two opposing adjectives (I liked-dislike / agree-disagree);
- **Observation:** the user is monitored while using the application and can be recorded for later analysis, it is possible to capture the user's behavior and abilities;
- **Think Aloud:** the evaluator takes notes that the user expressed orally while using the application.

For each type of evaluation methodology, it is possible to use one or more evaluation instruments. The choice of evaluation instrument is an important issue to consider in planning phases of evaluation and, specifically with TUI applications, determines how the result is useful.

About the evaluation tools and methodologies for TUI applications (especially User Experience), the next section search to verify the existence, adaptations or suggestions of use that contemplate the concepts of Reality-Based Interaction.

3 Systematic Review of Literature (SRL) of TUI applications evaluations methods

The SRL method was used for the delimitation of this study of the evaluation methods/tools used in TUIs. SRL is an exploratory analysis methodology,

through search engines of scientific articles. Following specific protocols that allow a better understanding of state of art on what was published/researched in a certain area of knowledge.

3.1 Methodology

The systematization of this SRL used the software StArt (State of the Art through Systematic Review) as a tool ¹ [19], which allows the creation, execution, selection, and extraction of data, within an information management software that can be shared by a group of researchers.

Two research questions were answered in the articles raised:

- (a) What approaches are used in TUIs evaluation?
- (b) What tools/instruments are used to measure the proposed goal in these TUIs evaluation?

The SRL protocol also demands to specify the search string generated based on a set of keywords defined from the most recurring ones found in the articles preliminary listed in the search:

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

This search string was applied to scientific indexers who returned the collection of articles. In this mapping the following Academic Search Engines (ASEs) were adopted:

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

These ASEs were selected because they aggregate a considerable amount of work within the research area considered.

In order to restrict the amount of work retrieved in this stage of selection, for subsequent extraction of the data, some criteria were used for the exclusion/inclusion of articles.

Criteria for inclusion of articles:

- Full articles;
- Published as of 2013;
- Presents some TUI application with the evaluation process;

¹ Tool to support the planning and execution of systematic reviews. Available at: <http://lapes.dc.ufscar.br/tools/>

² <http://dl.acm.org>

³ <http://ieeexplore.ieee.org>

⁴ <http://www.sciencedirect.com>

⁵ <http://link.springer.com/>

Exclusion Criteria for Articles:

- Complete book, abstract, poster or short article;
- Be focused on another research area other than HCI discussion;
- This article presents TUI application but does not present the evaluation process.

3.2 Results and discuss

The SRL was performed on the ASEs and as a result, **703 references were returned**, retrieved and stored in the StArt tool. The total set of articles resulting from this initial phase, classified according to the search engine used, is presented in Table 1.

Table 1. Distribution of articles found in each ASE

Search engine	Result Selected	
ACM Digital Library	10	4
IEEE Xplore Digital	3	0
Science Direct	230	11
Springer	455	33
IHC	5	2
Total	703	50

The first filter the group of researchers carried out a screening by analyzing: title, keywords and abstract. In order to make this selection, we used the exclusion and inclusion criteria of articles, established on SRL protocol, resulting in a subset of **86 articles**. Then, the final filtering cycle involved the three researchers with a complete reading of the articles to identify the answers to the research questions. Thus the final set listed in this SRL comprises the total of **50 articles**.

About the research questions listed above, the answers give some information to discuss:

(a) What approaches are used in TUIs evaluation?

As shown in Figure 1, most articles use the approach focused on **usability** for evaluations. This validates the operation of the technology, as designed, evaluating its efficiency/effectiveness.

The listed articles that work with usability focused approach are: [9], [7], [20], [51], [37], [28], [12], [6], [39], [41], [8], [2], [32], [15], [10], [27], [33], [25], [11], [38], [45], [52], [21], [46], [42], [50], [49] e [61].

User Experience was the second most commonly used approach, considering the user's perceptions and feelings regarding their relationship with a TUI application.

These are the listed articles that work with a User Experience approach: [37], [24], [60], [17], [54], [55], [8], [22], [18], [56], [59], [13], [58], [34], [49] e [3].

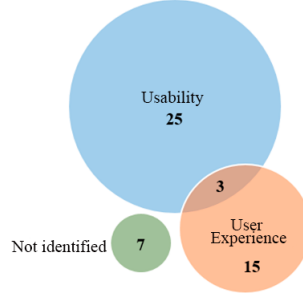


Fig. 1. Evaluation approaches used in selected articles

Seven articles presented tests that did not allow a categorization about the evaluation approach used, applied only functional tests of the developed technologies: [36], [35], [47], [5], [43], [4], [53].

Of the articles listed, three of them [37] [8] [49] combined the Usability and User Experience approach, using a questionnaire as the main evaluation tool.

[37] is an example of this joint approach, presents a scenario of evaluations about perceived spatial affordances of hover interaction above Tabletop Surfaces.

At the same time that efficiency-effectiveness tests are presented with quantitative performance and error rates, there is concern about sensations in the use of the application. Was applied attractiveness measurement tools and the care given with characteristics that go beyond the standard questionnaire used, such as the height and size of participants' arms, for example.

(b) What tools/instruments are used to measure the proposed goal in these TUIs evaluation?

In general, there are very different types of instruments that have been used to answer the evaluation objective within a given proposed approach.

Table 2 shows, the use of interviews (structured or semi-structured), questionnaires and the observation of the specialists were the instruments most used for TUI application evaluations returned at SRL articles.

Table 2. Evaluation instruments used in selected articles

Type of evaluation instrument	Number of articles
Interviews	10
Questionnaires	24
Observation	28
Think Aloud	5
Others	2

Figure 2 relates the evaluation approaches used with instruments that used.

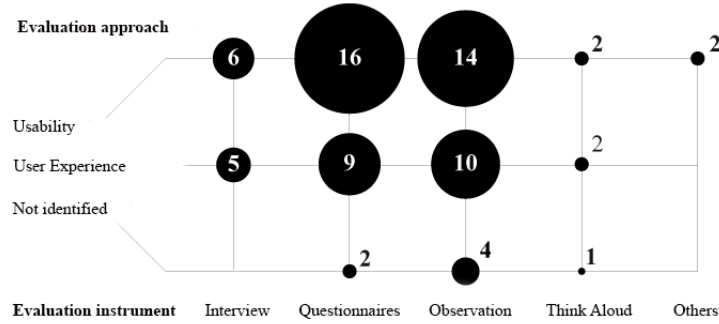


Fig. 2. Evaluation approach vs. evaluation instrument in selected articles

Interviews were usually used in a semi-structured way, with some key questions and others free, in order to evaluate how a certain group of users felt (UX) about the execution of certain tasks (Usability) in TUIs application.

[8] presents and his paper an evaluation of TUI application which goal was to improve learning conditions of children with dyslexia and attention disorder. In this scenario, a simplified questionnaire with children "liked or disliked" type, combined with interview applied to therapists, allowed a more accurate evaluation.

Focus groups were used in [34], [28] and [21] as a way of generating a collaborative observational quality in association with interviews.

Although relevant, the interviews had a much lower occurrence of use in the selected articles than the use of questionnaires and observation of the process by specialists.

Several patterns of questionnaires established have emerged from articles, such as the Scale Usability System (SUS) [14], used in [15] and also in [21] combined with Focus Group.

Another recurrent questionnaire model was the AttrackDiff [23], which an instrument to measure the attractiveness of interactive products and UX. This instrument was used in [37], [49] and [16].

The observation was the most referenced instrument in the final articles selected. Figure 2 gives indications that there is a relation to the use of this in a complementary way to the use of questionnaires. This is justified because questionnaires focus on user-generated perceptions, while observations are organized by specialists and mediators of the evaluation process. For example, [55] used the concepts of "gamification" for history teaching to primary school students using an augmented reality application in a TUI. In this work [55], a questionnaire was used to evaluate the interaction process with the students, and direct observation of the use was made by the specialists who recorded all the sections of the evaluation.

Based on SRL results, some observations about evaluation processes applied to TUIs:

- Most articles did not use an only single evaluation instrument or approach to evaluate TUI applications. This use of more than one approach evidences the concern of not only the efficiency of the application but also UX. At this point, the use of instruments that allow users to collaborate during the evaluation process is growing.
- There was no exact correlation between a particular TUI application evaluation approach and a specific package of instruments. According to the proposed objectives, the scenario or user profile (for example, children) defines which instruments will be used. Evaluation with children, for example, the reports of the articles indicate the difficulty of use questionnaires or more specific tools, requiring the involvement of other professionals in the evaluation process.
- None of the selected articles proposes any specific evaluation tool that considers the more general characteristics of interaction with TUIs, nor adaptations of existing tools.
- The concepts of Reality-Based Interaction, considering: intuitive physics, body consciousness, environmental awareness, and social understanding was not reflected in evaluation tools or instruments used. Observations on some points such as the height of the elements by the hands of users, arrangement and lighting of the environment, the design of the elements and use of materials more suitable for that type of interaction, although, none evaluation considered these particularities or how they can impact the interaction process.
- Another important issue is that none of the articles (even the 703 from the initial phase) proposes to discuss a specific evaluation process with tangible interactions or to review the application of several existing methods in TUI.

The next section presents a practical of UX evaluation at TUI application named AR Sandbox using some instruments listed at SRL.

4 AR Sandbox: UX evaluation for a TUI application

AR Sandbox is a project developed by UC Davis ⁶, consists of a sandbox where a topographic map is projected on top of the surface (Figure 3). The user shapes the sand to represent reliefs as if shaping the topographic map and, raising his hand over the sandbox, the system recognizes it as a cloud and simulates the flow of water.

The project consists of a didactic and educational TUI application that offers the user a dynamic practice of representing the topographic map. Users can apply their topography knowledge to compose scenarios, simulate precipitation and observe flow, as well as can shape real-world scenarios, rather than creating a model, the user can play it in the AR Sandbox by turning the relief into a moldable and interactive material.

⁶ University of California, Davis <https://www.ucdavis.edu/>

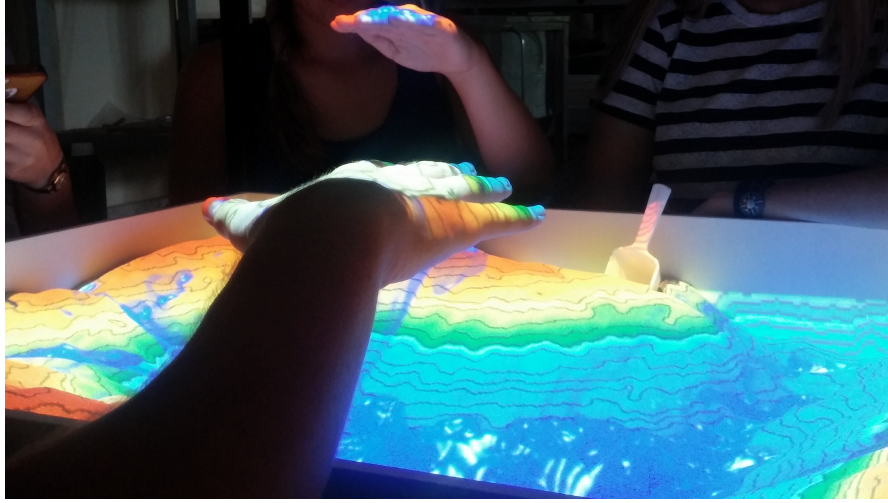


Fig. 3. Users testing AR Sandbox

In the work [16], this TUI application was implemented and the usability and UX evaluation were done. This section discusses the procedures and results of this evaluation, relating them to SRL conclusions.

4.1 Procedures

To evaluate the AR Sandbox application, the AttrakDiff tool was used, offering questionnaires for users, as well as generate graphs with the result obtained from the answers.

The evaluations of UX in AttrakDiff are separated by dimensions, which are: PQ, HQ-I, HQ-S, and ATT, where:

- **PQ (Pragmatic Quality)**: describes the functional quality of an application and indicates the degree of success through the user's objectives achieved using it;
- **HQ-I (Hedonic Quality - Identity)**: indicates the level of immediate identification of the user with the application;
- **HQ-S (Hedonic Quality - Stimulus)**: indicates if the application supports the user's needs concerning originality, interest and, especially, stimulus;
- **ATT (Attractiveness)**: it is the most comprehensive measure that quantifies the overall attractiveness of the application, based on the perception of quality by the user.

For evaluation, users freely experimented the application, executing some tasks such as shaping the topographic map, reproducing mountain, plateau, plain, depression, beaches, simulating rainfall and observing water flow.

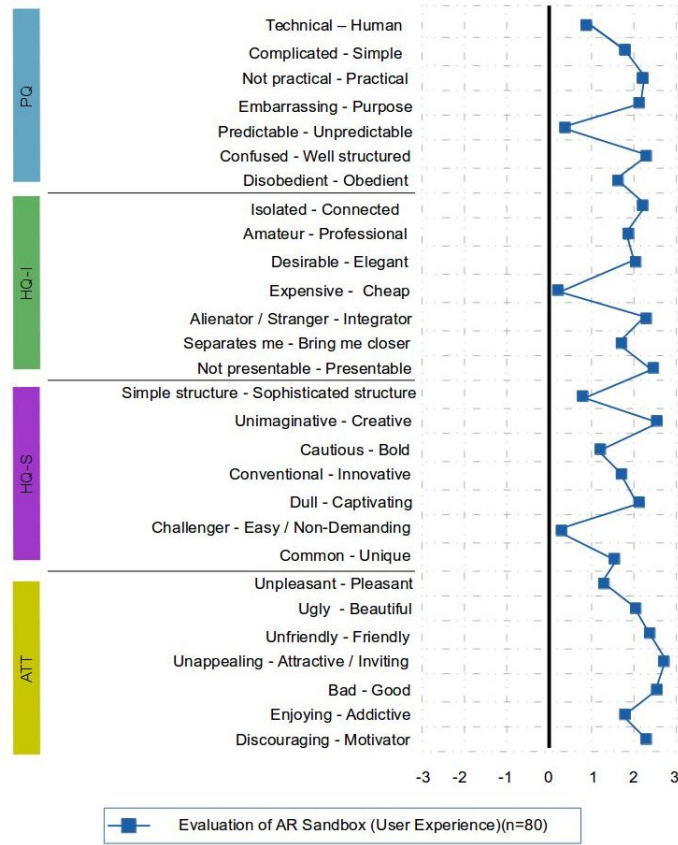
After the experiment, each user evaluated the TUI application through 2 questionnaires: one form containing the Usability evaluation, and another form containing the UX. Questions and graphs of both forms were based on Attrack-Diff instrument.

80 volunteers participated in the evaluation, 74 undergraduate students, two post-graduation students, three teachers and one "other". 43 considered themselves as "Non-specialist" (computer science students or teachers), and 37 were considered "Specialist" (geology or hydric engineering students or teachers).

4.2 Results and discuss

Figure 4 presents the UX evaluation of the AR Sandbox. The questionnaire users indicated their opinions on a semantic scale that varies from one adjective to another.

Fig. 4. Semantic Scale results of UX in AttrackDiff for AR Sandbox TUI application.



The first pair "Technical - Human" received 0.7 scores, most of the users were in doubt of the meaning of Technical and Humanized adjectives for the application, therefore, they did not know to answer and they marked neutral. Other users indicated "Human" because the interaction is "more natural".

"Predictable - Unpredictable" pair received a 0.4 scores, the response range for this question was -3 to 3, but the evaluation shows that the mean of the responses tended to be "Unpredictable", indicating that users believe the AR Sandbox it is surprising.

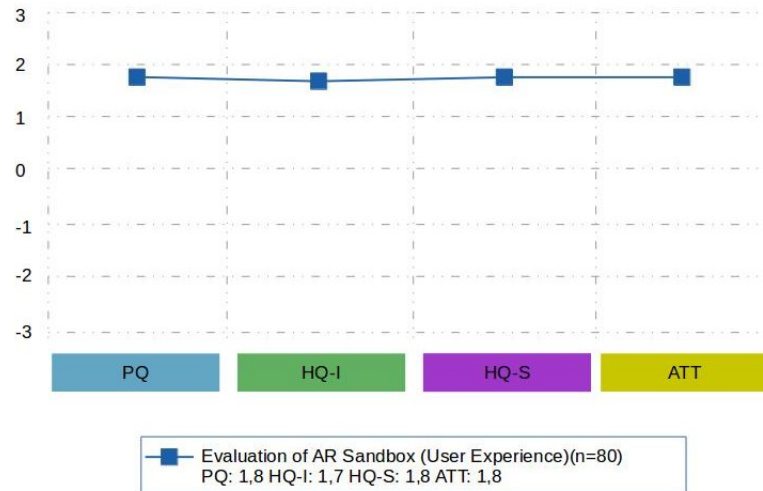
"Expensive - Cheap" pair received 0.2 scores, users believed that the cost to implement the AR Sandbox is not cheap. They had difficulty evaluating this issue because they did not know the value of the equipment or the complexity of the computational system.

Furthermore, the "Challenger - Easy / Not Demanding" pair received a rating of 0.3 scores, which indicates that although application manipulation is simple (shaping the topographic map and simulating rain), other users were motivated to use their imagination to simulate different scenarios.

In the Figure 5 the results of the UX evaluation fields of AttrackDiff are displayed. In general, the evaluation of the fields was uniform, between 1.7 and 1.8, and all fields were above average (0).

These numbers allow us to conclude that the UX evaluation of AR Sandbox had a good result, users were able to perform tasks accurately, interested in the application, felt stimulated, attracted, and believes that application works.

Fig. 5. The evaluation result of UX in AttrackDiff dimensions for AR Sandbox TUI application



Introducing the discussion of the UX evaluation results of the AttrackDiff questionnaire for the AR Sandbox application, many considerations are related to observations in the SRL about evaluation methods in TUI:

- Questionnaires quoted in the SRL, and the AttrackDiff that used in this evaluation with the AR Sandbox, do not consider a full observation for a TUI application. Environmental factors, physical body limits for use of this type of interface are ignored.
- Specialists comments on the use of the AR Sandbox allowed the discussion of questions that could help in the evaluation and design of the TUI application.
- Accessibility is not included in the AttrackDiff questionnaire nor in the others cited in the SRL. When applying evaluation with the AR Sandbox a wheelchair user had difficulty using the TUI application because of the height of the table. There are not topics about how accessible the application is for a person with any kind of disabilities or about the environmental factor that could interfere in the UX.
- A TUI application aims to extract the user's physical abilities for interaction in a natural way with their interface. During the tests of AR Sandbox, users proved that this characteristic is present, but do not explain or evaluate this at questionnaire. The tasks performed were simple and intuitive, requiring no further explanation for use of the interface.
- Facial expressions of satisfaction and how users interact with each other encourages collaboration in the use of the application. As for example, some groups of students simulated the dam breaking to observe the flow of water and other groups shaped the highest mountains. However, the AttrackDiff questionnaires and several other instruments cited in the SRL are answered individually and do not present questions about social engagement and collaboration about TUI application use.
- Some questions in AttrackDiff instrument were unusual, repetitive and others were not relevant for the evaluator. For example, the "Technical - Humanized" and "Cheap - Expensive" adjective pairs were questions that the users had different interpretations, causing some confusion of evaluation of the application.

5 The potential of UX for TUI evaluation

Academic research and commercial applications with TUI have been growing at the HCI area. Although the projects in TUI are more specific application contexts, it was noticed at SRL and in the experiment of evaluation with AR Sandbox, these evaluation methods currently used privilege interactions through GUI.

The concept of usability has become more comprehensive, but still, evaluations with this approach have as their main objective to assess the quality of software, efficiency, and effectiveness with a look to technology. Because TUIs are a relatively recent technology, most of the benchmarked evaluations focus on testing whether the "application works".

On the other hand, according to ISO 9241-110: 2010, UX is defined as: "user perceptions, feelings, and sensations that result in the use and/or use of a product, system or service" [57].

In this way, UX is a more comprehensive approach of evaluation that allows analyzing TUI applications not only by the functional characteristics of the system. UX takes into account user interaction with the entire application, evaluating user's thoughts and feelings [1].

To evaluate a product by UX, qualitative methods such as interviews, questionnaires, and written documents can be used. The data collected by observations can be verbal quotations from the user expressing their opinions, feelings, and knowledge.

This was verified with this work since the closed questionnaires do not usually provide space for dialogue between the evaluators with the users and between them.

The results from the observations are detailed descriptions of the behavior and actions of the user and the data collected in documents are summaries, citations or reports.

Quantitative methods allow the grouping of the answers of users in order to analyze what is common between the answers, and with the generalization, can extract information for comparisons, ideas and meanings of the events occurred in the evaluation.

The evaluation of UX with the application AR Sandbox used the AttrackDiff, which is one of the instruments referenced to evaluate with this approach and allows to relate that the ergonomic quality takes into consideration the usability because the user feels more comfortable when it has the control of the situation.

But, even AttrackDiff does not present basic questions that contemplate the full scope of the interaction experience with a TUI. If evaluations are made with the inadequate instruments there may be a misinterpretation of the results and design of new applications in TUI may have impacts.

Thus, the first step in proposing a specific methodology for TUIs is to understand that existing instruments are flawed. For most applications today use the GUI the evaluation tools do not extract the maximum potential when used in TUI.

Hence, it is suggested to adopt some basic considerations to enhance the use of the UX approach to TUI evaluation:

- The main element of TUI applications are physical objects as elements of interaction, the choice of how this object will be and how to evaluate its use is an important issue when developing the application, where designers should be concerned with the size, object, as this should interfere directly with the UX
- TUIs demand the user's body gestures to shape and move objects in the interaction process and such aspects should be present in the evaluation of the application. Consider that people have different biotypes and may not have all the preserved capabilities (accessibility).

- Do not use only a single instrument to evaluate UX in TUI, but consider using them together depending on the context of a specific use of that application, user profile. For example, with children, a particular instrument will not bring results while with adults it can work.
- Social collaboration is a basic and fundamental characteristic during the use of a TUI application. It has a major impact on UX and creating ways to evaluate this during the interaction process is critical. Focus groups, thinking aloud, expert observations or methods that enable users to talk to each other and with evaluator should be incorporated.
- Consider the concepts of Reality-Based Interaction (intuitive physics, body consciousness, environmental awareness, and social understanding) during the evaluation process. If the instruments used to allow this type of information to be interpreted or if it is necessary to adapt or build a specific tool for it.

Also, from the general analysis of the articles referenced in the SRL, it is possible to generate categories of evaluation types based on the proposed objectives:

- **Comparison of user interfaces:** aims to compare the use of traditional interfaces, such as GUI, in the relation of TUI, evaluating the gains/benefits of tangible interaction. Usually, they use the same traditional evaluation tools, with criteria developed for GUI, applied in a new use with TUI, having questionnaires and usability as a focus;
- **Collaborative interaction:** TUI has as the main characteristic to privilege the process of collaborative interaction, in a certain physical space. This group of articles tries precisely to evaluate if this characteristic of the TUIs potentiates a certain UX in an application that needs more of this process of collaboration. In these cases, the use of evaluation approaches and instruments such as focus groups, observations, and UX questionnaires is preferred;
- **Education instrument:** aims to propose solutions based on tools focused on the teaching/learning process for children and young people. They are of specific contexts and presented a variation in the instruments of evaluation, precisely due to the complexity inherent in the application of structured questionnaires with children.

These categorization groups help in the understanding that the evaluations have several solution proposals and that realizing this potentiates the results. How objective is pursued in the evaluation process impacts the prescription of the UX evaluation method itself.

6 Conclusion and Future Works

Applications that make use of Tangible User Interfaces are something new and incorporate various forms of interaction, and just as common interfaces are evaluated the TUIs should also be.

The forms of interaction of the TUIs are diverse, the possibility of the user interacting with their body to manipulate the interaction element and the responding application in the same object stimulates the feeling of immersion.

This work evidenced the need to develop an appropriate methodology for TUIs. According to the results of the SRL developed in this work, inadequate methods are being applied in a generic way for TUIs, complicating the possibility to improve the applications.

Between them, even though it is not the most used, the User Experience is the closest approach to evaluating TUIs. UX shows its potential to be applied in the evaluations process for this type of interface, required customization according to TUI application to adapt to the many particularities that the interaction has to offer.

From this study, as future works, it is intended to elaborate a set of guidelines on how best to apply a UX evaluation approach in TUI applications, incorporating the issues discussed in this paper, to be validated during the test stage with users for evaluation of interface, consolidating in a methodology for TUI evaluation.

References

1. Albert, W., Tullis, T.: Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics. Newnes (2013)
2. 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. pp. 105–114. Springer (2016)
3. Alrashed, T., Almalki, A., Aldawood, S., Alhindi, T., Winder, I., Noyman, A., Alfaris, A., Alwabil, A.: An observational study of usability in collaborative tangible interfaces for complex planning systems. *Procedia Manufacturing* 3, 1974–1980 (2015)
4. 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* 8(3), 305–317 (2014)
5. Anastasiou, D., Ras, E.: Case study analysis on collaborative problem solving using a tangible interface. In: International Computer Assisted Assessment Conference. pp. 11–22. Springer (2016)
6. Angelini, L., Caon, M., Carrino, F., Carrino, S., Lalanne, D., Khaled, O.A., Mugellini, E.: Wheelsense: Enabling tangible gestures on the steering wheel for in-car natural interaction. In: International Conference on Human-Computer Interaction. pp. 531–540. Springer (2013)
7. Antonijoan, M., Miralles, D.: Tangible interface for controlling toys-to-life characters emotions. In: Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. pp. 2387–2394. CHI EA '16, ACM, New York, NY, USA (2016), <http://doi.acm.org/10.1145/2851581.2892330>
8. Ayala, A., Guerrero, G., Mateu, J., Casades, L., Alamán, X.: Virtual touch flystick and primbox: two case studies of mixed reality for teaching geometry. In: International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. pp. 309–320. Springer (2015)

9. Besançon, L., Issartel, P., Ammi, M., Isenberg, T.: Mouse, tactile, and tangible input for 3d manipulation. In: *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. pp. 4727–4740. CHI '17, ACM, New York, NY, USA (2017), <http://doi.acm.org/10.1145/3025453.3025863>
10. Blagojevic, R., Plimmer, B.: Captui: geometric drawing with tangibles on a capacitive multi-touch display. In: *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*. pp. 511–528. Springer (2013)
11. Bonillo, C., Baldassarri, S., Marco, J., Cerezo, E.: Tackling developmental delays with therapeutic activities based on tangible tabletops. *Universal Access in the Information Society* pp. 1–17 (2017)
12. 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*. pp. 183–192. Springer (2016)
13. Bouabid, A., Lepreux, S., Kolski, C.: Design and evaluation of distributed user interfaces between tangible tabletops. *Universal Access in the Information Society* pp. 1–19 (2017)
14. Brooke, J., et al.: Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry* 189(194), 4–7 (1996)
15. 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*. pp. 299–306. Springer (2014)
16. Darley, N.T., Tavares, T.A., Costa, V., Collares, G., Terra, V.: Tangible interfaces : An analysis of user experience using the ar sandbox project. In: *XVI Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems IHC 2017* (oct 2017)
17. De Croon, R., Cardoso, B., Klerkx, J., Abeele, V.V., Verbert, K.: Mevita: Interactive visualizations to help older adults with their medication intake using a camera-projector system. In: *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*. pp. 132–152. Springer (2017)
18. Duckworth, J., Mumford, N., Caeyenberghs, K., Eldridge, R., Mayson, S., Thomas, P.R., Shum, D., Williams, G., Wilson, P.H.: Resonance: an interactive tabletop artwork for co-located group rehabilitation and play. In: *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. pp. 420–431. Springer (2015)
19. Fabbri, S., Silva, C., Hernandez, E., Octaviano, F., Di Thommazo, A., Belgamo, A.: Improvements in the start tool to better support the systematic review process. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. pp. 21:1–21:5. EASE '16, ACM, New York, NY, USA (2016), <http://doi.acm.org/10.1145/2915970.2916013>
20. Garcia-Sanjuan, F., Jaen, J., Nacher, V., Catala, A.: Design and evaluation of a tangible-mediated robot for kindergarten instruction. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. p. 3. ACM (2015)
21. Guerlain, C., Cortina, S., Renault, S.: Towards a collaborative geographical information system to support collective decision making for urban logistics initiative. *Transportation Research Procedia* 12, 634–643 (2016)
22. Gupta, A., Padhi, A., Sorathia, K., Varma, S., Sharma, B.: Mubiks: Tangible music player for visually challenged. In: *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. pp. 346–356. Springer (2014)
23. Hassenzahl, M., Burmester, M., Koller, F.: Attrakdiff: Ein fragebogen zur messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer qualität. *Mensch & Computer* 2003 pp. 187–196 (2003)

24. He, G., Sun, F., Hu, D., Lu, X., Guo, Y., Lai, S., Pan, Z.: Ardock: A web-ar based real-time tangible edugame for molecular docking. In: International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment. pp. 37–49. Springer (2016)
25. 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 pp. 1–16 (2017)
26. Hornecker, E., Buur, J.: Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction. Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems pp. 437–446 (2006), <http://doi.acm.org/10.1145/1124772.1124838>
27. 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. pp. 167–176. Springer (2014)
28. 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. pp. 558–565. Springer (2015)
29. Ishii, H.: Tangible bits: beyond pixels. In: Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction. pp. xv–xxv. ACM (2008)
30. Ishii, H., Ullmer, B.: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In: Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems. pp. 234–241. ACM (1997)
31. Jacob, R.J., Girouard, A., Hirshfield, L.M., Horn, M.S., Shaer, O., Solovey, E.T., Zigelbaum, J.: Reality-based interaction: a framework for post-wimp interfaces. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. pp. 201–210. ACM (2008)
32. 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. pp. 108–115. Springer (2014)
33. 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, pp. 104–123. Springer (2016)
34. Lee, T.H., Wu, F.G., Chen, H.T.: Innovation & evaluation of tangible direct manipulation digital drawing pens for children. Applied ergonomics 60, 207–219 (2017)
35. 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. pp. 142–153. Springer (2014)
36. Li, N., Willett, W., Sharlin, E., Sousa, M.C.: Visibility perception and dynamic viewsheds for topographic maps and models. In: Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction. pp. 39–47. ACM (2017)
37. Lubos, P., Ariza, O., Bruder, G., Daiber, F., Steinicke, F., Krüger, A.: Hoverspace. In: Human-Computer Interaction. pp. 259–277. Springer (2015)
38. Maquil, V., Leopold, U., De Sousa, L.M., Schwartz, L., Tobias, E.: Towards a framework for geospatial tangible user interfaces in collaborative urban planning. Journal of Geographical Systems pp. 1–22 (2018)
39. Maquil, V., Tobias, E., Latour, T.: Tangible voting: A technique for interacting with group choices on a tangible tabletop. In: Human-Computer Interaction. pp. 79–86. Springer (2015)
40. Marsh, S.: Human computer interaction: An operational definition. SIGCHI Bull. 22(1), 16–22 (Jun 1990), <http://doi.acm.org/10.1145/101288.101291>

41. Mora, S., Di Loreto, I., Divitini, M.: The interactive-token approach to board games. In: *European Conference on Ambient Intelligence*. pp. 138–154. Springer (2015)
42. Park, H., Moon, H.C.: Design evaluation of information appliances using augmented reality-based tangible interaction. *Computers in Industry* 64(7), 854–868 (2013)
43. 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* pp. 1–20 (2017)
44. Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H.: *Design de Interação - 3ed.* Bookman Editora (2013)
45. Sapounidis, T., Demetriadis, S.: Tangible versus graphical user interfaces for robot programming: exploring cross-age children’s preferences. *Personal and ubiquitous computing* 17(8), 1775–1786 (2013)
46. Seo, D.W., Lee, J.Y.: Physical query interface for tangible augmented tagging and interaction. *Expert Systems with Applications* 40(6), 2032–2042 (2013)
47. 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*. pp. 184–195. Springer (2014)
48. Shneiderman, B.: *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Pearson Education India (2010)
49. Skulmowski, A., Pradel, S., Kühnert, T., Brunnett, G., Rey, G.D.: Embodied learning using a tangible user interface: the effects of haptic perception and selective pointing on a spatial learning task. *Computers & Education* 92, 64–75 (2016)
50. Sun, H.H., Wu, F.G.: Applied motion analysis on tui design for lovers cooking together. *Procedia Manufacturing* 3, 6258–6265 (2015)
51. 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*. pp. 116–123. Springer (2014)
52. 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* 6, 39–48 (2015)
53. Tada, K., Tanaka, J.: Tangible programming environment using paper cards as command objects. *Procedia Manufacturing* 3, 5482–5489 (2015)
54. Teh, T.T.L., Ng, K.H., Parhizkar, B.: Traceit: an air tracing reading tool for children with dyslexia. In: *International Visual Informatics Conference*. pp. 356–366. Springer (2015)
55. Triantafyllidou, I., Chatzitsakiroglou, A.M., Georgiadou, S., Palaigeorgiou, G.: Fingertrips on tangible augmented 3d maps for learning history. In: *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning*. pp. 465–476. Springer (2017)
56. 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*. pp. 16–24. Springer (2017)
57. Vermeeren, A.P., Law, E.L.C., Roto, V., Obrist, M., Hoonhout, J., Väänänen-Vainio-Mattila, K.: User experience evaluation methods: current state and development needs. In: *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*. pp. 521–530. ACM (2010)
58. Walther, J.U., Bærentzen, J.A., Aanæs, H.: Tangible 3d modeling of coherent and themed structures. *Computers & Graphics* 58, 53–65 (2016)

59. Wang, D., He, L., Dou, K.: Storycube: supporting children's storytelling with a tangible tool. *The Journal of Supercomputing* 70(1), 269–283 (2014)
60. 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*. pp. 131–140. Springer (2013)
61. 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* 71(7-8), 803–820 (2013)

ANEXO D MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÕES EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS

MESA TANGÍVEL INTERATIVA: IMPLEMENTAÇÃO E EXPERIMENTAÇÕES EM ESPAÇOS CULTURAIS E EDUCATIVOS

COSTA, Vinicius Kruger da¹,
SILVA, Adriane Borda da²,
TAVARES, Tatiana Aires³

Resumo

Mesas tangíveis possibilitam uma interação com a informação digital mais próxima ao mundo real, utilizando-se de várias habilidades sensoriais dos usuários, como consciência espacial e corporal, aspectos lúdicos além do estímulo à colaboração. O objetivo desse artigo é apresentar o processo de implementação e discussão sobre os resultados das experimentações desenvolvidas em uma mesa interativa tangível dentro de um espaço cultural educativo (Museu do Doce). Como contribuições, a pesquisa produziu uma mesa tangível interativa para o uso nesse espaço, bem como discutiu os resultados obtidos através de avaliações e observações, sugerindo abordagens e apontando potencialidades e limitações no uso desse dispositivo.

Palavras-chave: interação tangível, interface tangível do usuário, mesa tangível interativa

Abstract

Tangible tabletops allow interaction with digital information closer to the real world, using various sensory skills of users, such as spatial and body awareness, and playful aspects in addition to stimulating collaboration. The aim of this article is to present the process of implementation and discussion of the results of the experiments developed in a tangible tabletop within an educational cultural space. As contributions, the research produced a tangible tabletop for use in this space, as well as discussed the results obtained through evaluations and observations, suggesting approaches and indicating potentialities and limitations in the use of this device.

Keywords: tangible interaction, tangible user interface, tangible tabletop

¹ PPGC/UFPeI, IFSul – viniciusdacosta@inf.ufpel.edu.br

² PROGRAU/UFPeI – adribord@ufpel.edu.br

³ CDTec/PPGC/UFPeI – tatiana@inf.ufpel.edu.br

1 Introdução

Uma interface tangível do usuário (*Tangible User Interface* – TUI) possibilita romper as barreiras do pixel e da linguagem técnica gráfica de representação pois dá formas físicas à informação digital, aproveitando assim a capacidade humana de compreender e manipular objetos físicos para além da tela, num espaço que mistura o real e o virtual (ISHII, 2008, p.12). Já o termo interação tangível sugere que a relação com a informação digital seja mais próxima da interação com o mundo real, e que seja dirigida às habilidades sensoriais do usuário. Jacob (2010) caracteriza quatro tipos de habilidades sensoriais:

- Física intuitiva: a percepção do usuário sobre o mundo real;
- Habilidade corporal: a noção que o usuário tem do seu corpo e a habilidade de coordenar seus gestos;
- Habilidade ambiental: a percepção que o usuário tem do ambiente ao seu redor e sua capacidade de interagir com ele;
- Habilidade social: a percepção que o usuário tem dos outros usuários no mesmo ambiente, a comunicação entre os mesmos e a habilidade de realizar tarefas em conjunto para alcançar o mesmo objetivo.

A atenção ao conjunto destas habilidades pode potencializar o desenvolvimento de interfaces humano x computador, com interações tangíveis cada vez mais inseridas no nosso cotidiano. Há mais de dez anos, como relatado em Ishii (2008), já existem diversos gêneros e contextos de aplicações com TUIs, e dentre elas a mesa tangível interativa foi um dos dispositivos que ganhou relevância de pesquisa. A partir de Costa *et al* (2018), foram observadas diversas alternativas para produção de uma mesa tangível interativa com tecnologia e custo acessível. De acordo com os autores, foi perceptível um crescimento no número de pesquisas e aplicações que utilizam esse dispositivo, os quais atribuíram à possibilidade das mesas tangíveis em explorar as habilidades sensoriais dos usuários e à versatilidade de aplicação em diversos contextos, pois partem do uso de um aparato cotidiano na vida das pessoas: uma mesa.

Este cenário estimula a experimentação no uso desse tipo de dispositivo, para explorar novas oportunidades de contexto, dentro de espaços culturais e educacionais: como salas de aula, laboratórios e museus. O objetivo desse artigo é justamente apresentar o processo de implementação e discussão sobre os resultados das experimentações desenvolvidas em uma mesa interativa tangível em um desses espaços (Museu do Doce).

Como contribuições, a pesquisa produziu uma mesa tangível interativa para o uso nesse espaço, bem como discutiu os resultados obtidos através de avaliações e observações, sugerindo abordagens e apontando potencialidades e limitações no uso desse dispositivo.

2 Mesas tangíveis interativas

As mesas tangíveis interativas, ou *tangible tabletops*, possibilitam maneiras de interação mais naturais e sociais, uma vez que o espaço interativo de suas superfícies (analógicas) é especialmente adequado para o desenvolvimento de aplicações colaborativas. Sendo um dispositivo de TUI, não utiliza somente o sentido visual, extrapolando para além da tela da interface gráfica, permitindo o tocar, manipular, moldar diversos elementos físicos no processo de interação (ISHII, 2008).

No exemplo da Figura 1, representa-se de maneira ilustrada os elementos que estão presentes no processo de interação em uma TUI através da mesa tangível interativa. O usuário controla um material físico (que pode ser qualquer objeto) como representação tangível que, ao ser movimentada por meio de uma ação sobre o tampo da mesa, gera uma interpretação digital do sistema computacional, cuja reação é uma representação intangível. Uma mesa interativa tangível nada mais é do que essa interface na qual a saída de dados do sistema é exibida ou projetada sobre a superfície superior desse artefato, ou sobre objetos físicos que podem ser posicionados ou manipulados para executar as interações, atuando como controles sobre a mesa. As TUIs tornam as informações manipuláveis com *feedback* tátil, sonoro, visual e até háptico. Representação intangível (como projeção de vídeo) pode complementar a representação tangível.

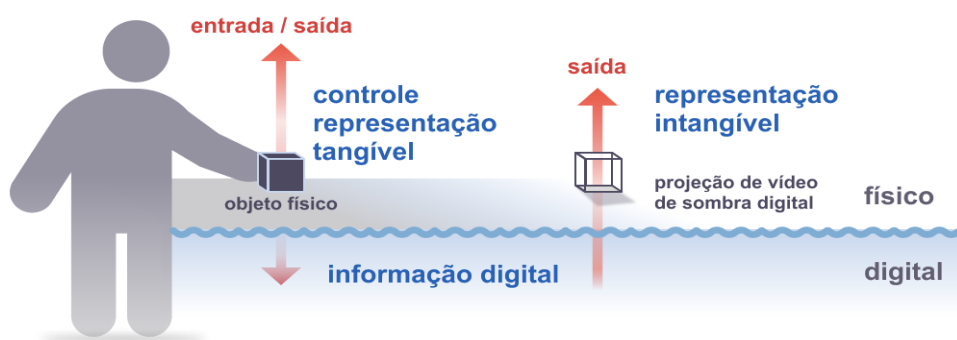


Figura 1: Esquema ilustrativo da dinâmica de funcionamento de uma mesa tangível

Fonte: Ishii (2008) adaptado pelos autores

Essas mesas atualmente, encontram-se tanto disponíveis como um produto comercial, como podem ser produzidas por meio de projetos customizados que se utilizam de tecnologias de reconhecimento de objetos. Esses objetos que funcionam como marcadores fiduciais são comumente chamados de “tokens” e são identificados pelo sistema através de diversas técnicas computacionais (APPERT, et al. 2018)

3 Procedimentos empregados

Os procedimentos utilizados neste estudo estão apoiados na abordagem de “Pesquisa através do Design” (*Research Trought Design* - RTD), que consiste em considerar o *design* como uma atividade de pesquisa para aprimorar as práticas do próprio *design*. Como uma

abordagem, o RTD utiliza e integra os modelos e teorias com a técnica no processo de produzir o projeto. Com a construção da pesquisa, os pesquisadores geram documentação, incluindo esboços, desenhos, modelos e protótipos para interrogar suas ideias, testar hipóteses e fazer novas perguntas através dos métodos de avaliação (AMIEL; REEVES, 2006).

Em termos de etapas procedimentais e a relação com os entregáveis em cada uma delas nessa pesquisa, podemos dividir o uso do RTD da seguinte maneira:

1- Identificar e analisar problemas através de pesquisadores e profissionais da área:

Revisão de literatura sobre mesas tangíveis interativas e definição de configuração inicial para produção dela de forma customizada.

2 - Desenvolvimento de soluções de protótipo apoiado no estudo de revisão sobre o estado da arte: Implementação do projeto computacional com criação da infraestrutura e do próprio protótipo da mesa tangível interativa.

3 - Ciclos iterativos de teste e refinamento de soluções na prática: Aplicação de testes de usabilidade (BROOKE, 1996), além de entrevistas abertas e observações por especialistas.

Cabe ressaltar que todas as avaliações foram efetuadas numa pesquisa em campo, com a mesa interativa tangível dentro do espaço cultural educacional (Museu do Doce) com livre circulação e acesso. Os usuários que participaram dos processos avaliativos seguiram todos os protocolos sanitários exigidos pelo espaço e leram e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido com detalhamento da natureza do estudo. Durante a construção e desenvolvimento desse projeto/pesquisa foi exigido o uso de máscara, material de higienização e comprovante de vacina para COVID 19. Todo o projeto está seguindo as normas éticas exigidas em pesquisas envolvendo seres humanos, em processo de registro sob nº 60509522.7.0000.5317 no Conselho de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas.

4 Trabalhos relacionados

As TUIs possibilitam novas oportunidades para uma interação mais direta entre usuários e objetos. Nesse sentido seu uso em espaços culturais e educacionais é uma inovação relevante pois permite a ampliação digital desses lugares. Contudo, vários destes espaços já utilizam aplicações com o uso de interfaces tangíveis e, nesse sentido, o objetivo dessa seção é justamente reconhecer e discutir alguns desses usos relatados em trabalhos científicos.

O artigo apresentado em Pontual Falcão *et al.* (2018), ilustrado na Figura 2, utiliza a pesquisa em matemática manipulativa e TUI para desenvolver um treinamento de competências numéricas básicas usando uma mesa interativa em combinação com blocos

físicos semelhantes a um brinquedo LEGO (*tokens*). Vários são os benefícios listados nesse artigo com relação ao uso de mesas tangíveis interativas (utilização da consciência espacial e corporal, aspectos lúdicos, estímulo a colaboração, entre outros) no desenvolvimento de atividades educacionais.



Figura 2: Registro fotográfico de uso de mesa tangível sob o tema matemática manipulativa

Fonte: Pontual Falcão *et al.* (2018)

Já em Not *et al.* (2019) o uso de interação tangível cria a possibilidade de uso de objetos físicos com sensores (*tokens*), os quais são detectados ao serem movidos sobre uma mesa. Criam-se cenários em que as informações descritas sobre os objetos são apresentadas aos usuários no momento exato em que estão olhando para eles. O projeto, centrado numa pequena mesa interativa tangível com um monitor à frente, combina informações digitais com uma experiência prática na manipulação de relíquias da Primeira Guerra Mundial. As imagens da Figura 3 ilustra a percepção de sinergia estabelecida entre o físico e o digital, de empatia dos usuários originais daqueles objetos e de interação social entre os visitantes do Museu. Na sequência da figura, um usuário manipula um objeto enquanto ouve sua descrição, pressiona um botão para alterar o idioma do material de vídeo suplementar, um grupo de visitantes interage durante uma apresentação.



Figura 3 – Registro fotográfico de uso de mesa tangível em museu de relíquias de guerra

Fonte: Not *et al.* (2019)

O trabalho proposto em Zidianakis *et al.* (2016) ilustra a implementação de uma solução de mesa tangível interativa customizada. O trabalho foi desenvolvido e planejado para o perfil de um usuário específico (crianças até 8 anos), considerando sua altura, posição de uso, como podemos ver na Figura 4.



Figura 4 – Registro fotográfico de uso de mesa tangível interativa customizada para crianças

Fonte: Zidianakis *et al.* (2016)

Os produtos disponíveis no mercado são dispendiosos e nem sempre cumprem as necessidades específicas para uma determinada aplicação. Com base nesses trabalhos, e no uso que fazem de mesas interativas tangíveis, percebe-se uma gama de opções disponíveis para aplicação dessa maneira de interação dentro do contexto de experiência em espaços culturais e educacionais com soluções customizadas e específicas.

Diferentemente da interface gráfica que é adaptável a diversos contextos num mesmo lugar (tela), pois aceita diversos tipos de dados, as mesas tangíveis interativas que utilizam TUI ainda estão muito ligadas a esses contextos mais específicos. Observa-se que cada aplicação apresentada é muito relacionada àquele local físico e aos *tokens* que são os disponíveis para uso. Também se percebe nos projetos listados o uso dos conceitos de interação baseada na realidade (física intuitiva, consciência corporal, consciência ambiental e compreensão social) (JACOB, 2010) que caracterizam o uso da TUI.

5 Mesa tangível interativa: implementação e experimentações

A especificação técnica inicial de construção do protótipo geral de mesa tangível interativa utilizada nessa pesquisa é a descrita em Preuss *et al.* (2020) (Figura 5). Os autores descrevem a construção de uma mesa tangível com todos os itens necessários ao seu funcionamento, além de apresentar uma ferramenta online para usuários finais com foco na produção de aplicações para educação inclusiva chamada Eduba¹, apresentado de forma ampliada em Preuss (2021).

O grande diferencial desse modelo de mesa é sua construção ser possível com tecnologias com um custo bem inferior às soluções comerciais disponíveis no mercado, ficando seu custo em valores atuais em torno de três mil reais. Todos os componentes são de fácil acesso (webcam com infravermelho, projetor, computador, estrutura de madeira e tampo de acrílico) e em conjunto com os *frameworks* de implementação TUIO, detalhado em Kaltenbrunner; Bencina (2007), conjugado às técnicas de visão computacionais,

¹ <https://nidaba.online>

geradas com foco em mesas tangíveis através do Reactivision (KALTENBRUNNER, 2009), possibilitam a construção e evolução do modelo especificado.

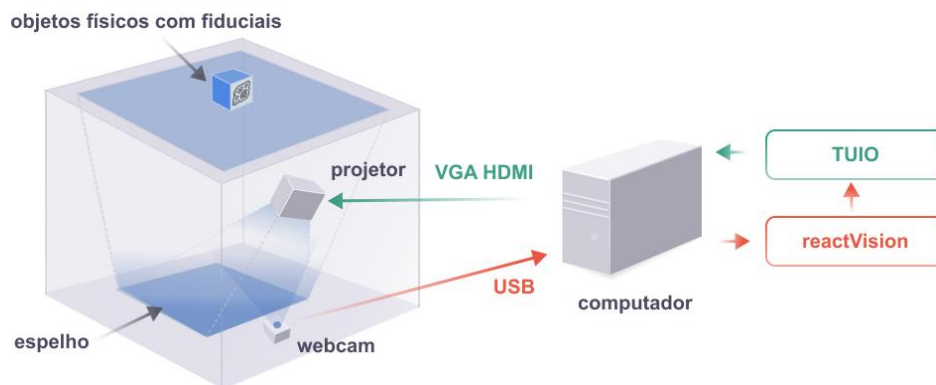


Figura 5: Elementos da mesa tangível e relação com os *frameworks* de implementação

Fonte: Autor (2022)

Para a produção das aplicações foi utilizada a própria ferramenta de autoria online criada por Preuss (2021) chamada Eduba. Ela permite que um usuário, leigo em linguagem de programação computacional, possa desenvolver uma aplicação que funcione na mesa tangível interativa. Para isto, a própria ferramenta disponibiliza tutoriais e faz a interface de comunicação entre os *tokens* e o sistema computacional. Dessa maneira, é possível criar um repositório de aplicações para o uso em mesas similares, gerando escalabilidade.

A mesa tangível interativa produzida foi inserida dentro de um dos ambientes do Museu do Doce (Figura 6). Esse museu tem como objetivo a missão de salvaguardar os suportes de memória da tradição doceira e da região e como compromisso, produzir conhecimento sobre esse patrimônio. Para além desse objetivo cabe ressaltar que é um espaço universitário com estímulo à pesquisa, servindo como um laboratório aberto para a interação dialógica com a comunidade (MUSEU DO DOCE, 2022)..

O Museu do Doce está atualmente situado na Praça Cel. Pedro Osório, número 8, dentro de um casarão tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) pela sua relevância patrimonial histórica e arquitetônica. Esse museu funciona diariamente com visitação gratuita e está localizado no centro da cidade, com um fácil acesso à população, o que possibilita bons números de visitação, justificando, dessa forma, sua escolha como espaço cultural para essa pesquisa.

Nesse contexto, julgou-se adequado colocar a mesa tangível interativa dentro de uma das salas do museu em conjunto com uma exposição específica, tornando esse dispositivo relevante ao acervo disponível, contudo sem ser ela por si só a atração principal do espaço, como é possível perceber pelas imagens da Figura 6. Dessa maneira, permitiu-se uma observação natural de como os usuários se relacionavam com tal tipo de interface. Além da tela pictórica principal da exposição, pintura ao fundo, a sala contém diversos outros elementos como: painéis com textos e imagens descritivas do quadro e de seu

contexto histórico social de produção, bancos para o visitante sentar e contemplar a tela, cubos de apoio para colocação dos *tokens* e ampla área de livre circulação com boa iluminação.



Figura 6: Mesa tangível interativa situada no espaço do Museu do Doce

Fonte: Autor (2022)

Com o objetivo de possibilitar aos visitantes do museu uma experiência com a mesa interativa tangível, foi produzida uma aplicação relacionada à exposição contida naquele espaço. A aplicação consiste em partes “recortadas” da pintura exposta na sala funcionando como *tokens* de interação. Ao serem encaixados sobre o tampo da mesa, como em um quebra-cabeças, a mesa interativa tangível reproduz um áudio descritivo daquela parte visual encaixada, com uma explicação sobre os personagens e qual a leitura iconográfica dos elementos que estão ali representados. As imagens da Figura 7 ilustram esta dinâmica de uso.



Figura 7: Detalhe dos *tokens* (à esquerda) e usuários manipulando-os com a mesa tangível interativa (à direita). Fonte: Autor (2022)

Os *tokens* foram produzidos com recorte a laser em acrílico, com figuras da pintura em uma face e os fiduciais de reconhecimento para a mesa anexados na parte posterior. Esses *tokens* foram deixados num cubo ao lado da mesa tangível interativa e somente

havia instruções de uso escritas na parte superior da mesa, ou seja, não havia mediadores ou instrutores que explicavam anteriormente o uso.

Alguns dos *tokens* foram produzidos para que o usuário possa encaixar mais de uma peça em um mesmo espaço, tendo descrições ou *feedbacks* diferentes da mesa conforme a escolha de cada um deles. Além disso a dinâmica de visitação do museu não foi alterada em função da mesa, o que fez com que, às vezes, um único usuário interagisse com ela ou grandes grupos. Neste último caso, os usuários manipularam vários *tokens* ao mesmo tempo.

A partir dessas premissas definidas: (a) espaço físico, (b) modo de interação com os *tokens* e a aplicação na mesa tangível interativa e (c) perfil dos usuários visitantes próprio do Museu, buscou-se conduzir um processo avaliativo sobre essa experiência. No caso dessa pesquisa, entende-se avaliação sob a perspectiva de quem utiliza o dispositivo, com uma pergunta norteadora: “Como as pessoas interagiram ou experi ciaram com a mesa tangível interativa?”. Desse modo, o principal objetivo era gerar percepções sobre a experiência que os usuários tiveram com esse tipo de interface e quais são os potenciais usos e limitações desse dispositivo. Não cabe aqui uma avaliação simples sob a  tica de funcionamento ou de conformidade de especificação, mas de qualificar o uso da mesa nesse contexto.

As ferramentas de avaliação utilizadas foram: a observação de especialistas, entrevistas abertas, além de um grupo de usuários que preencheu um questionário de usabilidade (*System Usability Scale - SUS*) padronizado em Brooke (1996).

Com relação à escala SUS, 25 visitantes (amostragem aleatória por conveniência) preencheram o questionário. Grande parte desses usuários tem entre 18 e 24 anos (52%); e de 25 a 39 anos (39%) sendo que nenhuma criança foi considerada nessa amostra, principalmente em função da dificuldade de entendimento com relação as perguntas do questionário. Apenas 2 usuários relataram já terem interagido com uma mesa similar em algum outro local, o que sinaliza o conceito de novidade pela maioria da amostragem desse tipo de dispositivo e interação. O escore médio das avaliações na escala SUS foi de 83,8 pontos (com desvio médio de 11,9 pontos para mais ou menos), o que é definido como uma boa usabilidade, ou seja, as pessoas conseguiram usar a mesa interativa tangível para aquilo que tinham como entendimento de como ela deveria funcionar.

As observações seguiram um protocolo executado por um grupo de 3 pesquisadores que acompanharam a visitação   sala com a mesa tangível interativa num período de uma semana, totalizando em torno de aproximadamente 80 visitantes de idades variadas (grupos de crianças participaram). Havia um roteiro pré-estabelecido com algumas questões norteadoras a serem observadas e, conforme o andamento do uso da mesa, os usuários poderiam ser solicitados, conforme o seu desejo, a responder perguntas em uma

entrevista aberta: “Como foi a primeira reação à interação com a mesa tangível? O que motivou o usuário a interagir com a mesa? Já usaram algum dispositivo similar a esse? Como se sentiram de maneira geral? O que achou da altura da mesa? O som ficou adequado? Luminosidade está de acordo? *Tokens* estão no tamanho e forma adequados?” Também foi analisado qual a ordem de interação com os elementos dispostos na sala, por exemplo: olhou primeiro para a pintura, depois foi até a mesa interativa tangível, se foi ler os painéis com texto descritivo, etc.

Apenas 3 usuários, do total da amostra observada, foram diretamente interagir com a mesa tangível, sendo que a grande maioria dos visitantes foi primeiramente olhar a pintura exposta, a qual tem um tamanho considerável e é o objeto principal de exposição na sala. Em torno de 70% das pessoas que entraram na sala no período observado interagiu com a mesa tangível sendo que o roteiro (ordem de visualização dos elementos da sala) que a maioria dos visitantes desenvolvia seguia a ordem: visualizar a pintura, ler os painéis com texto descritivo e, por fim, interagir com a mesa.

Grande parte dos usuários tentou utilizar interação por toque junto ao tampo da mesa, já que os *tokens* disponíveis estavam sobre outro suporte ao lado do tampo. Ao não estabelecer a relação de uso entre o *token* e a mesa os usuários buscaram a analogia mais próxima do seu uso cotidiano, que são as interações por toque e multitoque em seus *smartphones*. Ao perceberem o não funcionamento inicial alguns poucos usuários leram as instruções sobre a mesa, enquanto outro grupo percebeu a relação entre os objetos e a mesa (peças no quebra-cabeça).

Ao ser utilizada por grupos de usuários a interação com a mesa tangível e os *tokens* acontecia de forma colaborativa, normalmente com cada um do grupo colocando uma peça por vez. Alguns usuários reclamaram do som baixo diante das conversas de grupos maiores que estavam na sala ao mesmo tempo. Já com relação à iluminação não houve nenhuma consideração, nem com relação à altura da mesa que funcionou tanto com grupos de adultos como com crianças.

Quanto à questão de acessibilidade para as pessoas com deficiência visual surgiu como um dos aspectos relevantes nas observações, já que os *tokens* acionam um áudio com a descrição dos elementos da pintura em exposição. Durante o período de observações uma usuária com baixa visão, que utilizou a mesa interativa tangível, conseguiu através dessa experiência de uso da mesa, ter uma melhor compreensão do quadro que estava a sua frente – “Acho que poderia haver mais mesas como essa, eu enxergo muito pouco com um dos olhos e do outro sou cega, consegui enxergar a tela só através dessa tecnologia aqui, os pedaços de tela recortados (*tokens*) foram fáceis de manipular pois podia pegá-los com a mão e trazer perto do olho que consigo enxergar e ao colocar na mesa. A descrição me ajudou a entender melhor o quadro.”

As limitações observadas no uso da mesa tangível interativa, nesse espaço cultural educacional, dizem mais respeito às questões técnicas de funcionamento (som baixo, problemas de calibração e identificação dos *tokens*) do que aos aspectos de interação dos usuários com o dispositivo. A colocação da mesa em frente ao quadro pictórico, com uma aplicação que ampliou a experiência com este importante elemento do acervo, foi elogiada pelos visitantes e sempre gerava atratividade para interagir com o dispositivo, o que justifica explorar cada vez mais seu uso.

Sugere-se, como abordagem para novos usos em outros contextos educacionais culturais, que se considere esse entorno do espaço como campo complementar ao que é oportunizado dentro da interação com a mesa tangível. Sob a adoção desta estratégia, fica estabelecida, de maneira mais direta, a relação de uso do dispositivo com os *tokens*.

6 Considerações finais

Mesas tangíveis interativas têm um grande potencial de uso para diversas áreas do conhecimento. Desde o contexto de espaços educacionais culturais, como nessa pesquisa, até a popularização nos ambientes domésticos, de comércio e serviços. Interfaces compartilhadas se tornarão realidade na medida que a própria computação resolver o modo como os objetos se comunicam, através de protocolos que sejam escalados a todas as plataformas e entre diversas empresas e suas soluções comerciais, além de plataformas sólidas de desenvolvimento, tudo a um custo acessível.

A manipulação da mesa interativa tangível de forma colaborativa, onde um grupo de pessoas podem manipular os elementos de interação simultaneamente a fim de realizar tarefas independentes ou em conjunto é uma das características positivas constatadas nesse tipo de interação. Desse modo se evita o “isolamento do acesso” criado pelo uso dos sistemas com interface gráfica, permitindo que os sistemas com TUI sejam de interação social num contexto espacial físico.

Considera-se que estas mesas tangíveis vão estar, cada vez mais presentes nos restaurantes, nos lares das pessoas, e as aplicações que hoje são específicas a um determinado uso serão mais generalistas e aplicáveis a contextos mais amplos.

Dentre os principais resultados obtidos até o presente momento, considerou-se a oportunidade formativa tanto da equipe como dos usuários, tendo em vista a inovação tecnológica utilizada para o contexto em questão. A pesquisa está em fase inicial e em expansão, estabelecendo-se como infraestrutura para a investigação em diversas áreas do conhecimento, em especial por ter disponibilizado este dispositivo em um espaço público e aberto para a extensão universitária e multidisciplinar, como se apresenta o Museu do Doce.

Referências

- AMIEL, Tel; REEVES, Thomas C. Design-based research and educational technology: Rethinking technology and the research agenda. **Journal of educational technology & society**, v. 11, n. 4, p. 29-40, 2008.
- APPERT, Caroline *et al.* Custom-made tangible interfaces with touchtokens. In: **Proceedings of the 2018 international conference on advanced visual interfaces**. 2018. p. 1-9.
- BARBOSA, Simone; SILVA, Bruno. **Interação humano-computador**. Elsevier Brasil, 2010.
- BROOKE, John *et al.* SUS-A quick and dirty usability scale. **Usability evaluation in industry**, v. 189, n. 194, p. 4-7, 1996.
- COSTA, Vinicius Kruger *et al.* Methodologies and evaluation tools used in tangible user interfaces: A systematic literature review. In: **Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. 2018. p. 1-9.
- ISHII, Hiroshi; HIROSHI. Tangible bits. In: , 2008, New York, New York, USA. **Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction - TEI '08**. New York, New York, USA: ACM Press, 2008. p. xv. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1347390.1347392>. Acesso em: 11 dez. 2017.
- JACOB, Robert J.K. Reality-Based Interaction: A Framework for Post-WIMP Interfaces. **Journal of the Royal Society of Medicine**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 14-20, 2010.
- PREUSS, E. **NIDABA: plataforma digital para produção de recursos educacionais inclusivos baseados em mesa tangível**. [S. l.]: lume.ufrgs.br, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/229757>.
- PONTUAL FALCÃO, Taciana *et al.* Tangible Tens: Evaluating a Training of Basic Numerical Competencies with an Interactive Tabletop. In: **Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. 2018. p. 1-12.
- PREUSS, E *et al.* Uso de Mesa Tangível na Educação Inclusiva. **Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação** (pp. 742-751). [s. l.], 2020. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12830>.
- ZIDIANAKIS, Emmanouil *et al.* The Farm Game: A Game Designed to Follow Children's Playing Maturity. In: **Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation**. Springer, Cham, 2016. p. 20-28.