

Interfaces Tangíveis: Conceituação e Avaliação

Tangible Interfaces: Conceptualization and Evaluation

Alessandro Vieira dos Reis, Universidade Federal de Santa Catarina.
alessandrovr@gmail.com

Berenice dos Santos Gonçalves, Universidade Federal de Santa Catarina.
berenice@cce.ufsc.br

Resumo

Com o advento de inovações tecnológicas como a Realidade Aumentada, o design de interfaces se viu diante de novos desafios. Nesse contexto surgiram as interfaces tangíveis, caracterizadas pela manipulação de objetos físicos com propriedades digitais. Contudo, a conceituação de tal tipo de interface se encontra ainda pouco sistematizada. Diante de tal problemática, este artigo objetiva apresentar uma conceituação das interfaces tangíveis, com ênfase nos critérios de usabilidade. Para tanto, foram realizadas duas revisões sistemáticas de literatura: a primeira sobre a conceituação das interfaces tangíveis, e a segunda sobre avaliação de usabilidade de tais interfaces. Como principais resultados destaca-se: a) Interfaces tangíveis encontram-se associadas a ambientes interativos que misturam diversos tipos de interfaces; b) apresentam como principal benefício em termos de usabilidade o ganho de naturalidade de uso; c) têm nas metáforas o mais comum recurso cognitivo de concepção e avaliação.

Palavras-Chave: Design de Interação; Interfaces Tangíveis; Usabilidade

Abstract

With the advent of technological innovations such as Augmented Reality, interface design was faced with new challenges. In this context emerged the tangible interfaces, characterized by the manipulation of physical artifacts that come with digital properties. However, the concept of such kind of interfaces is still not systematic. Faced with this problem, this article presents a description and conceptualization of tangible interfaces, with emphasis on evaluation criteria of usability thereof. Therefore, there were two systematic reviews: about the concept and about usability evaluation of such interfaces. The main results: a) Tangible Interfaces are associated with creating interactive physical environments that mix several types of interfaces; b) present as main benefit in terms of usability gain naturalness of use; c) They have the most common cognitive resource metaphors of design and evaluation.

Keywords: Interaction Design; Tangible Interfaces; Usability

1. Introdução

O Design de Interação tem como foco a concepção, desenvolvimento e avaliação de interfaces, isto é, a camada de interação entre usuários e sistemas. Historicamente, na perspectiva da Interação Humano-Computador, interfaces são em sua maioria de natureza gráfica. Isto é, estímulos audiovisuais em telas de computadores.

Contudo, devido a inovações tecnológicas que se intensificaram nos anos 1990, um novo tipo de interface surge como objeto de pesquisa e aplicação em Design de Interação. Tais inovações, como a Realidade Aumentada e a Computação Ubíqua, encontram-se hoje disseminadas e acessíveis. A Realidade Aumentada envolve extensões virtuais em ambiente físicos, através de projeções e outros recursos tecnológicos. Tem esse nome porque o ambiente real, onde está o usuário, se vê “aumentado” com eventos e propriedades virtuais, que são inseridos e apresentados ao usuário através de dispositivos que o tornam apto para visualizar e manipular tanto objetos reais quanto virtuais (KIRNER e SISCOOTTO, 2007). Já a Computação Ubíqua, de acordo com Paz (2012), se iniciou com Mark Weiser, na divisão de pesquisa da Xerox PARC, no final dos anos 1980. O conceito caracteriza-se pelo uso de dispositivos de computação distribuídos no ambiente físico, e também enquanto produtos móveis portados por usuários. O autor diz ainda que a principal característica da computação ubíqua nos dias de hoje é a sensibilidade ao contexto. Isto é, os dispositivos registram as ações do usuário e as processam diferencialmente, a partir da situação em que foram emitidas.

A Realidade Virtual e a Computação Ubíqua foram os requisitos tecnológicos que permitiram o advento das interfaces tangíveis, caracterizadas pelo uso de objetos físicos com propriedades digitais, por meio dos quais os usuários interagem com cenários virtuais. O marco histórico das interfaces tangíveis se deu no ano de 1997, a partir da publicação do artigo “*Tangible Bits*”, de Hiroshi Ishii, diretor de pesquisa do MIT. Tal publicação foi a primeira a formalizar as interfaces tangíveis como objeto de estudo para o Design de Interação. Com pouco mais de 18 anos de idade, contudo, tal objeto de estudo ainda se encontra pouco conhecido e explorado por pesquisadores e designers. As inovações trazidas pela Realidade Aumentada e pela Computação Ubíqua implicam na necessidade de avançar as pesquisas teóricas e aplicadas em Design de Interação no que tange às interfaces tangíveis. Tal objeto de estudo tende a ganhar importância no cenário profissional de designers de interação à medida que seus requisitos tecnológicos forem sendo popularizados e barateados.

Diante de tal problemática, este artigo tem por objetivo principal apresentar uma descrição e conceituação atual das interfaces tangíveis, com ênfase nos critérios de avaliação das mesmas. Constam como objetivos secundários: a) Sistematizar as principais características formadoras das interfaces tangíveis; b) Identificar critérios de avaliação desse tipo de interface.

Para a efetivação desses objetivos adotou-se como procedimento metodológico a Revisão Sistemática. Sampaio e Mancini (2007) definem a Revisão Sistemática como sendo um tipo de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Tal procedimento disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. Foram empreendidas duas revisões sistemáticas para a

presente pesquisa: uma em outubro de 2014, tendo por objetivo sistematizar a definição de interface tangível; e outra em março de 2015, focada em formas de avaliação e concepção destas.

Este artigo tem por escopo uma revisão ampla e integrativa de conceitos na área de Design de Interação tendo por foco as interfaces tangíveis. Não está na alçada deste artigo o desenvolvimento de processos ou instrumentos de avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis, mas sim apresentar a forma como tal empreendimento vem sendo abordado por pesquisadores da área.

2. Design de Interações Tangíveis

2.1. Histórico e Conceituação do Design de Interação

Por volta dos anos 1960 os computadores eram usados exclusivamente por engenheiros e cientistas, e seu manuseio se dava apenas por meio de programação de linhas de código (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005). Nesse período histórico não havia uma preocupação, ou possibilidade técnica, de gerar interfaces entre usuário e sistema que fossem simples de operar. Com inovações tecnológicas ocorridas nos anos 1980 surgem as interfaces gráficas. Essas permitiram a manipulação de dados através de comandos mais simples do que a programação, tais como clicar em ícones, arrastar objetos virtuais, abrir “janelas”, etc. O uso dos computadores passou a ser acessível a um público maior. Essa mudança tecnológica, por sua vez, proporcionou a criação de um novo ramo do Design dedicado a promover a usabilidade das interfaces entre usuários e computador. Tal ramo foi chamado Design de Interfaces ou, mais comumente, Design de Interação (NORMAN, 2006).

O marco histórico para o surgimento da Design de Interação se deu apenas em 1992, com um projeto de Bill Moggridge (STONE et al, 2005). O pesquisador desenvolveu o primeiro computador portátil, o *Grid Compass*. Tal projeto levou Moggridge a concluir que não era apenas o *hardware* que deveria ser objeto de Design, mas também a interface do *software* apresentada graficamente na tela do computador. Com esse ponto de partida, o pesquisador identificou a necessidade de dar mais atenção para o usuário no design de interfaces. Moggridge então cunha o termo “*Design de Interação*”, dando origem a uma disciplina então inteiramente voltada para interfaces gráficas de *softwares*.

Design de Interação pode ser definido como o “Design de produtos interativos que fornecem suporte às atividades das pessoas, seja no lar ou no trabalho (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005, p. 29). As autoras prosseguem relacionando ainda o Design de Interação ao projeto de espaços e artefatos que favoreçam a comunicação humana, o que torna necessário que o designer entenda da cognição social dos usuários e atue de forma interdisciplinar para melhor compreender a experiência do usuário.

2.2. Interfaces e Usabilidade

Interfaces podem ser entendidas como uma camada de comunicação entre dois elementos: um usuário que emite comandos e um artefato ou sistema que responde a esses comandos, promovendo assim uma interação (JETTER, 2013). Bonsiepe (1997) apresenta a interface como um aspecto intrínseco de todo artefato projetado, não apenas *softwares*. Em seu “Esquema Ontológico” evidencia-se a natureza relacional da interface, conforme a Figura 1:

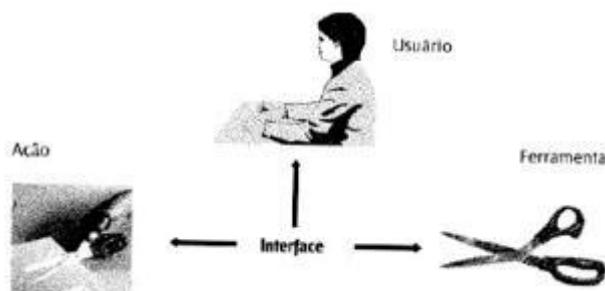


Figura 1 : Esquema ontológico do Design, Fonte: Bonsiepe (1997, p. 10)

A partir da Imagem 1 observa-se como projetar interfaces implica em projetar relações entre usuários, artefatos e contextos de uso que implica nas ações que as pessoas emitirão por meio dos artefatos. A tesoura como artefato deve ter sua estrutura física projetada levando em conta propriedades anatômicas da mão do usuário, bem como a ação que ele precisa executar por meio desse artefato. Em outras palavras, interfaces são projetadas com o objetivo de mediar e facilitar o trabalho humana envolvendo pessoas e artefatos, sejam eles sistemas digitais ou produtos tangíveis.

Nesse contexto ressalta-se um aspecto fundamental no Design de Interação. Trata-se da usabilidade, que se constitui a partir de um conjunto de atributos que oferece uma medida da qualidade de uma interface. Enquanto conjunto de atributos, a usabilidade pode ser definida como cinco medidas básicas:

- A eficácia desta em termos de proporcionar a execução de tarefas;
- A eficiência que ela proporciona em termos de uma razão entre esforço despendido e erros gerados;
- Formas de tratamento de erros;
- A facilidade da interface em ser aprendida;
- A capacidade de engajar o usuário em uma experiência satisfatória de uso (STONE et al, 2005).

Segundo a norma ISO/IEC 25010 (2011), a usabilidade pode ser definida como uma “medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso” (ISO/IEC 25010, 2011, p. 3). A norma destaca o papel do contexto de uso, definido como formado pelos usuários, tarefas, equipamentos e o ambiente físico e social no qual um produto é usado; e ainda como a usabilidade trata de sistemas de trabalho, que são compostos por “usuários,

equipamentos, tarefas e o ambiente físico e social, com o propósito de alcançar objetivos específicos” (ISO/IEC 25010, 2011, p. 3).

2.3. Interfaces Gráficas WIMP e Interfaces Tangíveis

Nos anos 1980 e 1990, as interfaces de computadores eram predominantemente de natureza gráfica, ou audiovisual, sendo marcadas pelo uso de ícones, menus, janelas e mouse (CYBIS, 2010). Esse conjunto de características recebeu o nome de paradigma WIMP de interface (JETTER, 2013), sendo WIMP a sigla de *Windows, Icons, Menus and Pointers* (isto é, janelas, ícones, menus e ponteiros de mouse). Tal padrão de interface começou com a Xerox PARC no início dos anos 1990 (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005), e foi baseado na metáfora de uma mesa de trabalho em um escritório: pastas e documentos sobre uma mesa, uma lixeira no canto, etc.

Devido a popularização do paradigma WIMP de interface gráfica em sistemas operacionais de microcomputadores, hoje tal padrão se apresenta generalizado, seja em telas de computador ou dispositivos móveis, e mesmo em toda espécie de interação digital audiovisual. Mas nem toda interface é de natureza gráfica, e nem toda interface gráfica restringe-se ao paradigma WIMP. Para compreender os diferentes tipos de interfaces digitais torna-se oportuno entender em detalhes o desenvolvimento histórico das mesmas, que seguiu a rota expressa na Tabela 1:

Tipo de interação	Descrição
Elétrica	Os primeiros computadores eram feitos de circuitos elétricos não-programáveis e a interação se dava apenas com a modelagem desses circuitos.
Simbólica	Códigos surgem como forma de interação, permitindo programação mais complexa que as dos circuitos elétricos.
Textual	Toda a interface se dava através de textos dispostos na tela, bem como os comandos dos usuários também eram textuais.
Gráfica	O surgimento das interfaces gráficas permitiu uma interação mais intuitiva que a textual, incluindo dispositivos como o <i>mouse</i> . As interfaces demanda do usuário, fundamentalmente, a visão de uma tela e motricidade fina dos dedos para o controle do mouse e do teclado.
Interação Corporificada	Atual fase de desenvolvimento da interação entre pessoas e computadores, que abarca a interação gráfica e vai além, envolvendo movimento corporal e controle espacial do usuário.

Tabela 1 – Desenvolvimento histórico das interfaces. Fonte: Desenvolvimento a partir de Dourish (2004, cap. 3)

O que Dourish (2004) denomina atualmente de interações corporificadas começa com as interfaces tangíveis, segundo o célebre artigo de Ishii (1997). Hiroshi Ishii é o pesquisador-chefe da área de Mídias e Tecnologias do MIT, responsável pelo *Tangible Media Group*. Tal equipe tem como propósito “Explorar as visões de Bits Tangíveis e Átomos Radicais para

integrar o mundo dualista de bits e átomos, dando uma forma física dinâmica para informação digital e computação” (TANGIBLE MEDIA GROUP, 2014).

No que tange as interações corporificadas, o nome “*Tangible User Interface*” foi a primeira nomenclatura desse novo modelo. O termo “tangível” foi usado para contrastar com o aspecto intangível das interfaces gráficas, uma vez que tal tipo de interface não é constituída por objetos físicos diretamente manipuláveis pelo usuário, mas por estímulos audiovisuais oriundos de um computador. As interfaces tangíveis são feitas de objetos que podem ser apreendidos e manipulados diretamente (DOURISH, 2004). Ou seja, a motricidade do usuário ganha importância, uma vez que sua cinestesia tornasse a forma como ele interage com a interface. Isto de uma maneira muito ampla que apenas movimentos dos olhos e dos dedos, como nas interfaces gráficas. Nas interfaces tangíveis a corporalidade do usuário e a espacialidade do artefato e do ambiente de uso tem muito mais importância que nas interfaces gráficas. A Figura 2 apresenta as principais diferenças, em termos de uso, das interfaces gráficas (*Graphical User Interfaces*, ou GUI), em relação às interfaces tangíveis (*Tangible User Interfaces*, ou TUI):

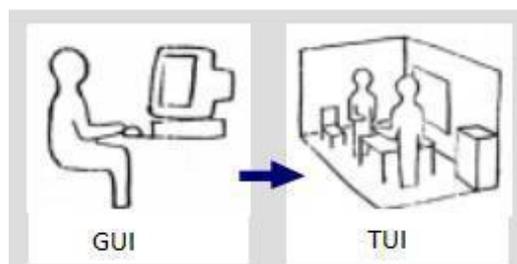


Figura 2 – Diferenças entre GUI e TUI. (ISHII, 1997, pág. 2)

Nota-se, pela Figura 2, como nas interfaces gráficas o usuário faz uso de teclados, mouse e telas para interagir com um sistema computadorizado, permanecendo sentado e fazendo pouco uso de sua corporalidade, a não ser em termos de movimentos sutis dos dedos e dos olhos. Já nas interfaces tangíveis o espaço físico e a corporalidade ganham destaque, uma vez que um ou mais usuários podem manipular objetos. Enquanto nas interfaces gráficas o usuário está numa postura corporal fixa e tem movimentos reduzidos (a respostas oculares e dos dedos das mãos), nas interfaces tangíveis o usuário, ou o conjunto deles, pode estar em movimento pelo ambiente, lidando com um espaço que se torna ele mesmo uma interface. Ou interagindo com um objeto que capta diversas de suas respostas motoras, vocais, emocionais, etc.

Para elucidar a importância da motricidade do usuário na interface tangível, Ishii (1997) apresenta o soroban como metáfora norteadora. O soroban é o ábaco japonês, um instrumento de cálculo que funciona a partir da movimentação de contas em espaços pré-determinados, conforme ilustra a Figura 3:

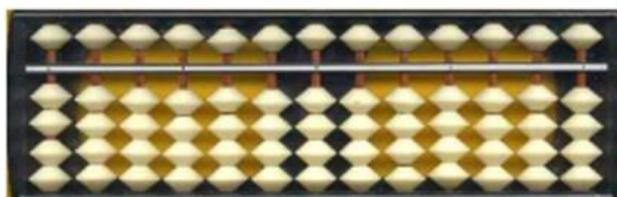


Figura 3 – Um soroban (ábaco japonês). Fonte: Ishii, 1997, p. 5

Por demandar coordenação motora das mãos e braços o soroban ativa regiões cerebrais mais ligadas ao movimento corporal que o uso de calculadoras de interfaces gráficas ou de papel e caneta. Tais regiões cerebrais ativadas pelo soroban estariam mais ligadas a processos mais velozes de cognição do que o raciocínio numérico e verbal, tais como a apreensão intuitiva de números (SOUZA, 2004). Em outras palavras, pelo fato de ser uma interface tangível o soroban agilizaria o aprendizado de Aritmética. Segundo Ishii (1997), assim como acontece com o soroban, as interfaces tangíveis seriam mais intuitivas e de mais fácil aprendizado que as gráficas por serem intuitivas. Teriam ainda um efeito cognitivo mais amplo nos usuários, uma vez que incentivariam mais a imaginação e o raciocínio em três dimensões, diferente das interfaces gráficas, que funcionam basicamente em duas dimensões.

A Figura 4 apresenta um exemplo de interface tangível:



Figura 4 – Mesa de toque e componentes. Fonte: Ishii (1997)

Na Figura 4 observa-se como o usuário manipula blocos tangíveis sobre uma superfície que possui propriedades digitais. Em outras palavras, o usuário faz uso de objetos tangíveis para interagir com objetos ou ambientes intangíveis, virtuais. Tal uso é marcado pela cinestesia do usuário, que envolve tanto o movimento corporal e sua percepção. As habilidades cinestésicas também são conhecidas como enactivas, e configuram um “paradigma da cognição centrado em dinâmicas sensorio-motoras, atividades corpóreas, e coloca as mediações entre o indivíduo e seu ambiente como fundamentais e determinantes para a produção de significados” (PARAGUAI, 2008, pág. 55). Na interação ilustrada na Figura 4 a corporalidade do usuário (sua posição, postura, dimensões), e sua cinestesia tornam-se fatores determinantes para a relação entre elementos tangíveis (blocos manipuláveis) e intangíveis (conteúdo audiovisual) da interação.

3. Procedimentos Metodológicos

Este artigo adotou o método da revisão sistemática de literatura como procedimento metodológico. A revisão sistemática, por vezes chamada de revisão integrativa, constitui-se em um tipo de pesquisa bibliográfica, procedimento que, segundo Marconi e Lakatos (2003, p.44), “a pesquisa bibliográfica pode, portanto, ser considerada também como o primeiro passo de toda pesquisa científica”. A revisão sistemática, contudo, destaca-se por sua abrangência, uma vez que a busca é feita em bases de dados a partir de um algoritmo modelado para esse fim.

A Tabela 2 resume o procedimento de revisão sistemática:

Passos	Descrição
Passo 1: Definição da Pergunta	O primeiro passo a ser dado no início de qualquer estudo é estabelecer o que se deseja pesquisar. Questões mal formuladas podem conduzir a decisões obscuras sobre o que incluir na revisão posteriormente
Passo 2: Busca a evidência	Esta etapa realiza-se em bases de dados eletrônicas (<i>databases</i>) indexadas (a partir da seleção de termos, também conhecidos como descritores construídos com as palavras-chave e operadores booleanos AND, NOT, OR etc.).
Passo 3: Revisão e seleção das publicações	De posse de todos os estudos a serem incluídos, são estabelecidos critérios para determinar a sua validade e se há possibilidade dos resultados possuírem vieses.
Passo 4: Análise dos indicadores bibliométricos das publicações selecionadas	Com base nas semelhanças entre artigos, os dados serão agrupados para a obtenção das conclusões finais (ou da meta-análise, se este for o caso). Cada um destes agrupamentos deve - preferencialmente - ser pré-estabelecido previamente, evitando a tendenciosidade.
Passo 5: Apresentação dos resultados	Nas etapas finais, a redação dos resultados deve ser feita levando-se em conta a questão norteadora estabelecida no primeiro passo supracitado.

Tabela 2 – Passos da revisão sistemática. Fonte: Desenvolvido a partir de Sampaio e Mancini (2007, p. 389)

Foram realizadas duas revisões sistemáticas, que representam momentos diferentes da pesquisa de dissertação do autor. Ambas fizeram uso das seguintes bases de dados: *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*.

A primeira foi realizada em outubro de 2014, tendo por tema a conceituação de interface tangível. Os termos de busca foram integrados, formando o seguinte algoritmo: “*Tangible Inter**” AND “*Interaction Design*”, que pode ser interpretado como “Toda publicação que envolve *Tangible Inter*”, como *'tangible interface'*, *'tangible interaction'*, etc; e que também fale sobre *'Interaction Design'*). Em outras palavras, tal algoritmo proporcionou a busca de publicações que relacionam o fenômeno das interfaces tangíveis com o campo de estudo do Design de Interação.

A segunda revisão foi realizada entre março e abril de 2015. Teve por tema as formas de avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis. A busca foi realizada com o seguinte algoritmo: “*Tangible inter**” AND (“*evaluation*” OR “*usability*” OR “*heuristic*” OR “*testing*”), que pode ser interpretado como “Toda publicação que fale de *Tangible Interface*” e também sobre temas como avaliação, usabilidade, heurística e testes”. Tal algoritmo, por sua vez, proporcionou a busca de publicações que abordam o fenômeno das interfaces tangíveis com ênfase em procedimentos de avaliação da usabilidade de tais interfaces.

4. Resultados

4.1. Primeira revisão sistemática: conceituação de interfaces tangíveis

Os resultados da primeira revisão sistemática, que teve por objetivo conceituar interfaces tangíveis e identificar pesquisas atuais relacionadas, levou à obtenção de 240 artigos nas bases de dados encontradas. A Tabela 3 detalha os achados, de acordo com as bases de dados:

Base de dados	Artigos encontrados
<i>Web of Science</i>	87
<i>Scopus</i>	130
<i>Science Direct</i>	23
TOTAL	240

Tabela 3 - Dados da revisão sistemática. Fonte: Desenvolvido a partir dos dados da pesquisa

Esses 240 resultados passaram ainda pelos seguintes filtros: eliminação de itens repetidos; apenas dos últimos 5 anos; apenas artigos com resumo disponível; publicados em periódicos com revisão de pares; títulos, palavras-chave e resumo pertinentes com a temática de busca. Depois dessa filtragem, dos 240 restaram apenas 51 publicações. Analisando as temáticas dessas 51 publicações em busca de temas mais comuns, foram observados cinco temas frequentes, apresentados no Tabela 4:

Eixo Temático	Aplicações	Cognição Humana	Design de Interação	Realidade Aumentada	Mobile
Expressões mais Comuns	Educação Infantil	Gestos; Metáforas motoras; Cognição corporificada.	Interação física; Interação mista; Interação misturada	Realidade Aumentada.	Ubiquidade; Dispositivos móveis; <i>Wearables</i> .
Quantos artigos falavam desse tema (de um total de 51)	27	23	16	12	9

Tabela 4 – Descrição das publicações encontradas. Fonte: Desenvolvido a partir dos dados da pesquisa

A Tabela 4 indica como a maioria dos artigos tratam de aplicações ligadas a Educação Infantil em contexto escolar. Outras aplicações apareceram, porém, com baixa frequência. Em termos teóricos, os temas mais frequentes nos artigos são os que dizem respeito à Cognição humana corporificada, seguidos de análises das interfaces tangíveis em termos de Design de

Interação. Já no que se refere ao ferramental tecnológico, a Realidade Aumentada e dispositivos *mobile* foram os itens mais frequentemente citados como relacionados às interfaces tangíveis.

Os periódicos que mais publicaram nessa área, dentre as 51 publicações encontradas, são exibidos na Tabela 5:

Periódico	Artigos encontrados	Localização do periódico	Temática do periódico	Indicador SJR (2013)	Posição no ranking mundial (2013)	Posição no ranking em seu país (2013)
<i>Interaction with Computers</i>	11	Holanda	Ciências da Computação	0,989	346	71
<i>International Journal of Human-Computer Interaction</i>	7	Estados Unidos	Ciências Sociais; Ciências da Computação	0,623	347	127
<i>Pervasive and Mobile Computing</i>	3	Holanda	Ciência da Computação	1,03	319	66
<i>Personal and Ubiquitous Computing</i>	3	Reino Unido	Ciências da Computação	0,898	113	33

Tabela 5 – Periódicos onde foram feitas as 51 publicações. Fonte: Desenvolvido a partir dos dados da revisão sistemática

A partir das informações da Tabela 5 pode se notar como a produção sobre interfaces tangíveis: a) encontra-se concentrada entre dois países europeus (Holanda e Inglaterra) e os EUA; b) os periódicos que abordam a temática interfaces tangíveis se classificam como ligados às Ciências da Computação (e não ao Design); c) são periódicos de relativamente baixo impacto em suas áreas, levando em conta o *ranking* a partir do atual valor de seus SJR.

Analisando os autores que mais publicaram, levando em conta os 51 artigos selecionados pela revisão bibliográfica feita, temos as informações apresentadas na Tabela 6:

Autor	Artigos encontrados	Centro de pesquisa	Temas de pesquisa
Orit Shaer	3	<i>Wellesley College</i> HCI Lab, Massachussets, EUA	HCI; TUI; Educação infantil
Saskia Bakker	3	<i>Eindhoven University of Technology</i> , Holanda.	HCI; interfaces tangíveis; Dispositivos móveis; educação infantil
Stephen Wang	2	<i>Director of International Tangible Interaction Design Lab</i> ; Austrália	Design; Design de Interação; Design Industrial
Weiyuan Liu	2	<i>Northwestern Polytechnic University</i> .; Califórnia, EUA	Industrial Design; Design de Interação
Elise van den Hoven	2	<i>Design, Architecture & Building faculty of the University of Technology</i> , Sydney, Austrália. (Formada, como Saskia Bakker, na Eindhoven University of Technology, Holanda).	Design e Arquitetura.

Tabela 6 – Autores com mais publicações. Fonte: Desenvolvido a partir dos dados da revisão sistemática

A Tabela 6 confirma a tendência de EUA e Holanda como centros produtores de conhecimento sobre interfaces tangíveis, uma vez que 2 autores são dos EUA, 2 da Holanda, e como exceção, 1 da Austrália. Diferentemente dos periódicos onde publicam seus artigos, os autores declaram sua filiação a Pesquisa em Design (e não em Computação), sendo que alguns apresentam tendência mais voltada à HCI.

A Figura 5 sintetiza a distribuição geográfica de autores, centros de produção e periódicos mais importantes sobre interfaces tangíveis, atualmente, no mundo.

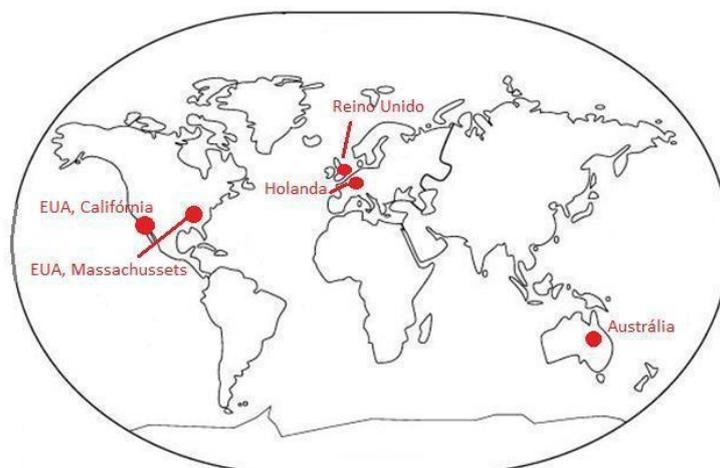


Figura 5 – Localização da produção sobre interfaces tangíveis. Fonte: Desenvolvido a partir dos dados da pesquisa

Na Figura 5 vê-se como centros produtores de estudos sobre interfaces tangíveis apenas países anglo-saxões: EUA, Holanda, Reino Unido e Austrália. O destaque está, contudo, na Holanda, pois parte dos pesquisadores endereçados em outros países tiveram formação em universidades holandesas, como Orit Shaer e Elise Hoven. EUA e Holanda, portanto, são os grandes polos produtores de pesquisas em interfaces tangíveis sendo que os EUA possuem dois grandes centros nas áreas: um em sua costa leste, outro em sua costa oeste.

Cumprir destacar que outros autores que não obtiveram visibilidade na análise bibliométrica também se situam nesses países. É o exemplo de Eva Hornecker e van Dijk, na Holanda; Hiroshi Ishii, em Massachussets, EUA. A produção encontrada na Austrália, por sua vez, é uma exceção que confirma a regra, visto que foi inteiramente concentrada em uma autora, Elise Hoven, que teve sua formação na Holanda.

A primeira revisão sistemática identificou como referencial teórico mais citado a “*Embodied Cognition*”, isto é, Cognição Corporificada. Tal modelo teórico, de natureza empirista, enfatiza a importância do sistema sensorio-motor na cognição. Em outras palavras, o papel do corpo inserido em um ambiente físico é destacado ao invés de abstratos processos mentais internos. Pode-se dizer, a partir dos artigos identificados, que a área de interfaces tangíveis se alimenta de modelos teóricos da Cognição Corporificada, e faz uso de procedimentos metodológicos variados. Em termos metodológicos, a maior parte dos estudos consistem no desenvolvimento experimental de aplicações em interfaces tangíveis, envolvendo observações exploratórias feitas em campo e testes de usabilidade. Destaca-se as interfaces tangíveis desenvolvidas para uso em ambientes escolares e os dispositivos móveis relacionados a *smartphones*.

4.2. Segunda Revisão Sistemática: Usabilidade de Interfaces Tangíveis

Realizada março e abril de 2015, teve como propósito identificar as formas de avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis. Isto é, procurou-se por publicações que abordam procedimentos de avaliação da usabilidade de interfaces tangíveis. Os dados quantitativos que representam as publicações encontradas são apresentados na Tabela 7:

Base de dados	Artigos encontrados
<i>Web of Science</i>	62
<i>Scopus</i>	273
<i>Science Direct</i>	414
TOTAL	749

Tabela 7 – Artigos achados na segunda revisão. Fonte: Desenvolvido a partir dos dados da segunda revisão sistemática

Esses 749 passaram pelo crivo de:

- Artigos de periódicos e conferências;
- Com resumo;
- De 2005 em diante;
- Títulos pertinentes.

Restaram 21, que passaram pela leitura do Resumo em busca de temas, metodologias e resultados que implicam em avaliação da usabilidade de interfaces tangíveis. Depois dessa filtragem o número foi reduzido para 10 artigos, dos quais 4 eram de conferências de HCI e 5 estavam relacionados a computação ubíqua e mobile. Desses 10 artigos restantes apenas 7 foram achados inteiros e gratuitos na internet. Destaque para o fato de que desses 7 artigos finais, 4 foram publicados entre o segundo semestre de 2014 e os primeiros meses de 2015, o que evidencia a atualidade das pesquisas.

A seguir, os principais achados teóricos da segunda revisão sistemática.

4.3. Metáforas

Dos 7 artigos resultantes da busca, 2 tiveram Emmanuel Dubois como co-autor e têm por ênfase o uso de metáforas para avaliar e projetar interfaces tangíveis. Sobre o uso de metáforas no design de interfaces:

Uma metáfora consiste na translação de um conceito de um domínio alvo para o conceito de um domínio diferente, chamado domínio fonte, mais familiar em algum contexto de discurso. Em uma interface metafórica o mapeamento relaciona conceitos e operações entre os dois domínios (CELENTANO e DUBOIS, 2014, p.100).

A Figura 6 apresenta, de maneira esquemática, a aplicação de metáforas no design de interface:

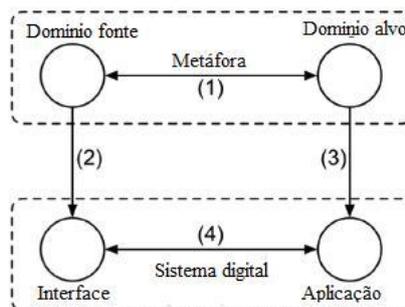


Figura 6 – Metáforas no Design de Interação. Fonte: Desenvolvido a partir de Celentano e Dubois, 2014, p. 101

Na Figura 6 temos: 1) Mapeamento entre domínios; 2) A expressão da metáfora-fonte na interface; 3) A implementação da metáfora alvo do domínio alvo na aplicação; 4) O mapeamento entre interface e aplicação, e determina como a interface direciona a aplicação. Em outro artigo, Celentano e Dubois (2012), fornecem mais detalhes desse modelo, afirmando que o Domínio Fonte é formado por objetos dotados de estrutura, significados, atributos; que se tornam representações que delimitam a interface; o Domínio Fonte provê comandos para o Domínio Alvo, que por sua vez gera a Aplicação (um conjunto de parâmetros e regras) que funciona gerando *feedback* para a interface. Partindo de tal modelo os autores defendem três critérios de avaliação de interfaces tangíveis:

- Coerência (Como a metáfora é expressa na interface da aplicação);
- Cobertura (O quão completa é a expressão);
- Conformidade (O quão reconhecível é a expressão da metáfora nos objetos usados na interação).

4.4. Mapeamento

A concepção de interfaces tangíveis demanda especial atenção para contextos físicos de uso e a corporalidade integral do usuário. Edge (2008, p.50), destaca cinco processos de mapeamento contextual para o design de interfaces tangíveis:

1. Análise do contexto (Identifica atividades que podem ser beneficiadas por meio de interfaces tangíveis, constituindo, portanto, oportunidades de facilitação);
2. Análise da atividade (Identifica as propriedades das interfaces tangíveis que iriam dar suporte apropriado para as atividades apontadas no item 1);
3. Análise de mapeamento (Gera uma estrutura que relaciona o domínio físico e o digital);
4. Análise de significado (Provê significados aos mapeamentos do item 3, de modo que o usuário possa compreendê-los);
5. Análise de adequação (Considera as consequências de adaptações de uso por parte dos usuários, gerando refinamentos).

A importância do mapeamento para o design de interfaces tangíveis é destacada também em outro artigo: “Estudos sobre interfaces tangíveis e adultos têm enfatizado a importância de ‘mapeamentos naturais’ associados com tangíveis, no que diz respeito ao senso de presença (imersão em um ambiente virtual)”¹ (ZAMAN et al, 2011, p.5).

Leon et al (2014), ao descrever o processo de avaliação de uma interface tangível presente em um sistema de trabalho colaborativo, também destacam a importância do mapeamento das atividades. Nesse caso, contudo, há um ganho de complexidade, uma vez que se trata de um grupo de usuários interagindo ao mesmo tempo com a interface tangível.

4.4.Naturalidade do uso

Por “naturalidade” entende-se um critério de concepção e avaliação de interfaces pelo qual ela pode ser usada sem considerável necessidade de novas aprendizagens. Interfaces tangíveis

são naturais no sentido de que seu uso é mais intuitivo que o das interfaces gráficas (ZAMAN et al, 2011).

Os autores prosseguem, apontando os seguintes fatores como determinantes da maior naturalidade das interfaces tangíveis sobre as gráficas: especificidade de dispositivos de entrada; interações baseadas em habilidades do dia a dia e experiências do mundo físico; emprego de habilidades que demandam as duas mãos e *feedback* tátil; facilitação de tarefas espaciais por meio da inerente espacialidade das interfaces tangíveis; sincronização entre controle de objetos físicos e a manipulação de representações digitais.

4.5. Interfaces tangíveis são parte de um conjunto maior

Dos 7 artigos encontrados na segunda revisão, 2 ressaltam que interfaces tangíveis quase sempre encontram-se integradas a interfaces de outros tipos, incluindo as interfaces gráficas. As interfaces tangíveis fazem parte, segundo Dubois et al (2014) dos Sistemas Interativos Misturados (do original, *Mixed Interactive Systems*), definidos como aqueles que integram “complexas formas de interação tais como realidade aumentada, interfaces tangíveis ou mesmo sistemas pervasivos”² (DUBOIS et al, 2014, p. 1).

Lebrun et al (2013), ao avaliar a interação em mesas multi-toque, destacam que essas integram *feedbacks* táteis e cinestésicos com interfaces gráficas e efeitos de som. Portanto, a avaliação da interface presente nesses artefatos não pode se limitar à tangível, mas deve também abranger os outros tipos de interfaces utilizadas. Portanto, o ato de projetar e/ou avaliar interfaces tangíveis não dispensa conhecimentos de Design de Interação relacionados a outros tipos de interfaces, como as gráficas, ou modelos de interação em Realidade Virtual, Realidade Aumentada, etc.

5. Discussão

5.1. Cognição Corporificada como Fundamentação Teórico-Metodológica

Em termos de fundamentação teórica das pesquisas, o modelo teórico mais recorrente foi o da Cognição Corporificada. Tal modelo implica numa visão contextualista do comportamento, isto

¹ Do original: “*Studies on TUIs and adults have emphasized the importance of “natural mappings” associated with tangibles, with respect to feelings of presence (immersion in a virtual environment)*”.

é, que leva em conta tanto o agente (em seus aspectos físicos, emocionais, intelectuais, etc) quanto o contexto ambiental e histórico de seu comportamento. A ênfase dos artigos se deu no aspecto físico da interação: gestos, corporalidade, espacialidade, cinestesia, etc. Tal ênfase se explica pelo fato de que no Design de Interação, historicamente voltado às interfaces gráficas, tais fatores não costumam receber considerável atenção.

O uso da Cognição Corporificada como modelo teórico tem implicações metodológicas. Uma vez que o processo de conhecer (perceber, imaginar, lembrar, raciocinar, decidir, etc) não é encarado como algo meramente mental e abstrato, mas como uma cadeia de ações num dado

contexto físico e social, os estudos etnográficos tendem a ganhar destaque. Analogamente, a concepção corporificada de interfaces demanda instrumentos que descrevam ambientes de uso e cadeias de ações contextualizadas (como maquetes e *storyboards*).

5.2. Utilização de Metáforas para Concepção de Interfaces Tangíveis

No que diz respeito à avaliação de usabilidade das interfaces tangíveis, destacou-se o uso de metáforas e análise de tarefas e atividades. Metáforas são comumente usadas para projetar interfaces quando não há ainda muitas convenções estabelecidas. Por exemplo, as primeiras interfaces gráficas fizeram uso de metáforas de ambientes de escritório (mesa de trabalho, pastas, arquivos, lixeira, etc). Ou seja, se a concepção e avaliação de interfaces tangíveis pode fazer uso de metáforas por uma questão de imaturidade dos estudos na área.

Por outro lado, o uso de metáforas em interfaces tangíveis pode ser inevitável. Isso porque a cognição corporificada gira em torno do conceito de metáfora: a corporalidade como um modelo formador dos processos cognitivos, de forma metafórica. Assim, as interfaces tangíveis explorariam o repertório já instalado de comportamentos dos usuários, agindo como metáforas para situações já conhecidas. Por exemplo, montar blocos por meio de encaixes físicos (comportamento já aprendido com brinquedos como Lego) para, metaforicamente, montar circuitos numa realidade virtual.

5.3. Relação entre Naturalidade e Usabilidade

Interfaces tangíveis privilegiam o uso intuitivo de artefatos. Isto é, uso que não demanda aprendizagens prévias uma vez que explora o repertório já estabelecido de habilidades e conhecimentos do usuário. Tal atributo, conhecido como naturalidade de interação, é uma medida de quanto a interface pode ser usada sem que novos comportamentos precisem ser aprendidos.

Afirmar que uma interface tangível é “natural” não implica, contudo, que seu uso é imediatamente identificado por qualquer pessoa, como se fosse um comportamento inato. Significa que um determinado perfil de usuários para o qual a interface foi projetada já passou

² Do original: “*complex forms of interaction such as augmented reality systems, tangible user interfaces (TUI), or even pervasive systems*”

por aprendizagens tais que o uso daquela interface não demanda esforços cognitivos. Em outras palavras, podem operar a interface sem que ela pareça arbitrária ou confusa.

Para que uma interface tangível seja considerada natural, portanto, ela precisa fazer uso de uma metáfora eficaz, evocando comportamentos já naturalizados pelo usuário. Isso demanda analisar o repertório de comportamentos dos usuários, mapear possíveis cadeias de ações, suas funções no ambiente, e com isso programar o artefato para se adequar a tais demandas.

5.4. Interfaces Tangíveis como Parte da Interação Corporificada

A partir dos artigos selecionados, destaca-se como as interfaces tangíveis são abordadas como uma parte de um campo maior. Tais tipos de interface estão sempre associadas à Computação Ubíqua, Realidade Aumentada, *Wearables* e outras formas de interação.

A tendência identificada parece ser a de que as interfaces tangíveis não sejam encaradas como um objeto independente, mas como parte de um conjunto conhecido como ambientes de interfaces misturadas, ou demais sinônimos. Isto é, as interfaces tangíveis encontram-se sempre integradas a outros tipos de interfaces, incluindo as gráficas, formando ambientes interativos complexos, formando o que Dourish (2004) chama de interações corporificadas. Por conta disso, designers de interação ainda precisarão estudar os outros tipos de interfaces afim de conceber e avaliar interfaces tangíveis.

5.5. Aplicações em Educação

O fato das interfaces tangíveis serem muito usadas em ambientes escolares, especialmente em Educação Infantil, ganhou destaque. Tal fenômeno pode ser explicado pelo caráter experimentalista das escolas, ávidas por novidades para lidar com gerações nascidas na era da internet.

Outra possibilidade estaria no potencial das interfaces tangíveis, em termos de Cognição Corporificada, de estimular o raciocínio através da cinestesia, promovendo interações intuitivas, adequadas a um público infantil. Assim como o soroban promove uma compreensão cinestésica da Aritmética que aceleraria o aprendizado através do raciocínio e imaginação tridimensional, as interfaces tangíveis potencializariam a cognição do aluno de forma mais acentuada que as interfaces gráficas (que constituem em representações visuais em duas dimensões).

Considerações Finais

O Design de Interação enquanto disciplina apresenta-se influenciado por inovações tecnológicas que tornam possíveis novas formas de interação entre pessoas e tecnologia. Interfaces evoluem historicamente, acompanhando as mudanças tecnológicas. Tendo em vista seu advento em 1997, as interfaces tangíveis figuram com pouco mais de 18 anos. Estas só foram popularizadas na última década com o barateamento de recursos de Realidade Aumentada e Computação Ubíqua. Ainda pouco compreendidas por designers, as interfaces tangíveis (e demais correlatas), tendem a se tornar parte do dia-a-dia de estúdios e empresas de desenvolvimento, assim como as interfaces gráficas WIMP. Especialmente as que desenvolverem interações focadas em Educação, dado o potencial das interfaces tangíveis nessa área.

Diante de tal contexto e problemática, esta pesquisa teve como objetivos: apresentar uma descrição e conceituação atual das interfaces tangíveis, com ênfase nos critérios de avaliação das mesmas. Assim, buscou-se sistematizar as principais características formadoras das

interfaces tangíveis, afim de estipular critérios de avaliação desse tipo de interface. Os objetivos foram cumpridos à medida que as revisões sistemáticas realizadas possibilitaram uma visão panorâmica desse novo objeto de estudo.

Os agrupamentos de artigos identificados na revisão permitem algumas conclusões no que tange a fundamentação teórica e prática das interfaces tangíveis. A Cognição Corporificada apresenta-se como o modelo teórico dominante, implicando no entendimento contextualista do usuário. Em outras palavras, determinantes físicos e sociais ganham mais importância no Design de Interação, tais como cinestesia, corporalidade, o ambiente e circunstâncias de uso da interface. Em termos metodológicos tal visão destaca os procedimentos etnográficos de pesquisa, tais como observação-participante e entrevistas *in loco*, e também para outros como experimentos de campo. Os agrupamentos de artigos identificados permitem ainda concluir que o design de interfaces tangíveis é fundamentado no mapeamento de comportamentos sensório-motores dos usuários. Nesse sentido, a análise de tarefas e o mapeamento de atividades tornam-se requisitos para a concepção de interações naturais, isto é, sem a necessidade de novas aprendizagens para o uso da interface. O conhecimento sobre como os usuários sentem, decidem e se movem é aplicado no uso de metáforas das experiências reais em artefatos, o que promove a naturalidade de uso dos mesmos.

Constam como sugestões para estudos futuros: formas de integrar interfaces tangíveis (e outras modalidades de interações corporificada) com interfaces gráficas; design de interação envolvendo computação ubíqua em ambientes sociais; estudos de procedimentos metodológicos baseados em Cognição Corporificada; protocolos para avaliação de interfaces tangíveis; técnicas facilitadoras de concepção adaptadas às interfaces tangíveis.

Referências

BONSIEPE, Gui. **Design: do material ao digital**. 2. ed. Florianópolis: Fiesc/iel, 1997.

CELENTANO, Augusto; DUBOIS, Emanuel. Metaphor modelling for tangible interfaces evaluation. In: AVI, 4., 2012, Capri Island. **Proceedings...** . Roma: Sbeb, 2012. p. 95 - 107.

ELENTANO, A., DUBOIS, E. Metaphors, analogies, symbols: in search of naturalness in tangible user interfaces. 6th International Conference on Intelligent Human Computer Interaction, IHCI, 2014.

CYBIS, Walter. **Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações**. São Paulo: Novatec, 2007. 124 p. DOURISH, Paul. Where the action is: the foundations of embodied interaction. Cambridge, MIT Press, 2004.

DUBOIS, Emanuel et al. An MDE-based framework to support the development of Mixed Interactive Systems. **Science Of Computer Programming**. Toulouse, p. 199-221. out. 2014. EDGE, D. Tangible User Interfaces for peripheral interaction. Dissertação em Ciências da Computação. Computer Laboratory. 237 pág. Universidade de Cambridge, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 25010**: System and software engineering - System and software Quality Requirements and Evaluation. 1 ed. New York: Iso/iec, 2011. 34 p. ISHII, H., ULLMER, B. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. Proc. CHI 1997, ACM Press (1997).



JETTER, Hans-cristian. Blended Interaction: Envisioning Future Collaborative Interactive Spaces. In: CHI 2013, 10., 2013, Paris. **Extended Abstracts**. Paris: Toulouse, 2013. p. 232 - 248.

KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**. Petropolis: Editora da Sbc, 2007. 300 p. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2007_svrps.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2015.

LEBRUN, Yoann et al. Interaction between tangible and virtual agents on interactivetables: Principles and case study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AMBIENT SYSTEMS, 4., 2013, Nova Scotia. **Proceedings...** . Toronto: Ant, 2013. p. 32 - 39.

LEON, Marianthi et al. Development and testing of a design protocol for computer mediated multidisciplinary collaboration during the concept stages with application to the built environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN AND DECISION

SUPPORT SYSTEMS IN ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING, 12., 2014, Eindhoven. **Proceedings...** . Hamsterdan: Procedia Environmental Sciences, 2014. p. 108 - 119.

MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 304 p.

NORMAN, Donald. **O design do dia a dia**. 4. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 2006. 125 p.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvone; SHARP, Helen. **Design de Interação: Além da Interação homem-computador**. São Paulo: Bookam, 2005. 256 p.

TANGIBLE MEDIA GROUP. **Tangible Interfaces**. 2015. Disponível em: <<http://tangible.media.mit.edu>>. Acesso em: 17 jun. 2015.

PAZ, Leandro Ferreira. **Acesso móvel às informações do paciente utilizando computação ubíqua**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Ciência da Computação, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Unijuí, Santa Rosa, 2012.

PARAGUAI, Luisa. Interfaces multisensoriais: espacialidades híbridas do corpoespaço. **Revista Famecos**, Porto Alegre, v. 4, n. 37, p.45-62, dez. 2008.

SAMPAIO, Ricardo; MANCINI, Marcos. Estudos de Revisão Sistemática: Um Guia Para Síntese Criteriosa Da Evidência Científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 1, n. 11, p.234-253, fev. 2007.

SOUZA, Roberta. Soroban: Uma Ferramenta para ajudar a pensar, contribuindo na inclusão de alunos portadores de necessidades visuais. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA., 8., 2004, Recife. **Anais...** . Recife: UFPE, 2004. v. 4, p. 32 - 47.

STONE, Debbie et al. **User Interface Design and Evaluation**. 2. ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005. 211 p.

ZAMAN, Bieke et al. Editorial: the evolving field of tangible interaction for children: the challenge of empirical validation. **Pers Ubiquit Comput**, Londres, v. 1, n. 2, p.83-95, jun. 2011.

Sobre os autores

Alessandro Vieira dos Reis

Bacharel em Psicologia (UFSC, 2004), Mestre em Design (UFSC, 2016). Analista de Gamification e Game Designer há 10 anos.

alessandrovr@gmail.com



Berenice Santos Gonçalves

Pesquisadora no programa de Pós em Design da UFSC.

berenice@cce.ufsc.br